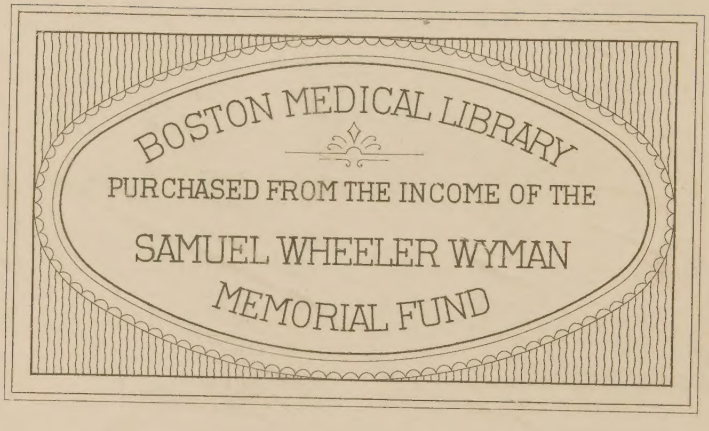
COUNTWAY LIBRARY
HC 4QKV 0

28. 8. 28.


BOSTON MEDICAL LIBRARY
PURCHASED FROM THE INCOME OF THE
SAMUEL WHEELER WYMAN
MEMORIAL FUND

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/anleitungzurfest0000drjr

Anleitung

zur

Feststellung der Farbentüchtigkeit.

Von

Dr. J. Rosmanit

Chefarzt der österreichischen Südbahn in Wien.

Mit 8 Abbildungen im Text und 6 lithographischen Tafeln.

LEIPZIG UND WIEN.

FRANZ DEUTICKE.

1914.

BOSTON MEDICAL
SEP 28 1916
LIBRARY.

13287 Wy 1.54

Verlags-Nr. 2130.

K. u. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 1
I. Theoretische Einführung 6
Farbensysteme 7
A. Dichromatische Systeme 8
Aichung der Protanopie und Deuteranopie 9
Aichwertkurven 9
Deutung derselben 12
Relative Intensitäten von Lithium, Natrium und Thallium 13
Spektrum der Dichromaten 14
Endstrecken der Normalen 14
„ „ Dichromaten 16
Vergleich der Kurven mit dem Bande des Spektrums 16
Farbenton der warmen Spektralhälfte 17
Farbensehen der Dichromaten 18
Zahlenmäßige Aichwerte 20
Tritanopie 21
B. Normales trichromatisches Farbensystem 21
Aichung desselben 22
Spektrum des Normalen 22
Beziehungen des dichromatischen zum normalen trichromatischen System 23
Die Gleichungen der Normalen werden von den Dichromaten anerkannt 24
Gliederung des normalen Systems 26
Aichung der erworbenen Rotgrünblindheit 26
„ „ angeborenen totalen Farbenblindheit 27
„ „ erworbenen „ „ 28
C. Anomale trichromatische Systeme 29
Rayleighs Experimente 29
Untersuchungen von Donders 30
Königs Arbeiten 30
v. Kriessche Beobachtungen 32
Zweiter Typus des anomalen Systems 32
Nomenklatur „ „ „ 34
Lichtabsorption ist nicht Ursache der Anomalien 35
Farbensehen der anomalen Trichromaten 36
Lage des reinen Gelb 36
Nagels Untersuchungen an Anomalen 38

Seite

Guttmanns Untersuchungen über Farbenschwäche 40
Aichwertkurven der Anomalen 41
Originalkurven Königs 41
D. Sekundäre Merkmale der Anomalen 43
1. Herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne . . . 43
2. Größere Abhängigkeit von der Intensität der Reizlichter 43
3. „ „ „ Helligkeitsdifferenzen 43
4. „ „ „ der Winkelgröße des Objektes . . . 44
5. Verlängerte Erkennungszeit für Farben 44
6. Verstärktes Auftreten des Farbenkontrastes 45
7. Größere Ermüdbarkeit des Farbensinnes 46
Zusammenfassung der sekundären Merkmale 46
E. Farbensehen der Dichromaten auf großem Felde 47
Schlußbetrachtung über die Farbensysteme 50
II. Beschreibung beider Modelle des Nagelschen Anomaloskopes . . 52
III. Praktische Diagnostik und Anweisung zum Gebrauche des Anomaloskopes 67
A. Erkennung der Dichromaten 69
1a. Die Rot: Gelb-Gleichung der Protanopen 70
1b. „ „ „ „ „ Deuteranopen 71
2a. Die Grün: Gelb-Gleichung der Protanopen 71
2b. „ „ „ „ „ Deuteranopen 72
3. Feststellung der vollständigen Unbestimmtheit der Farbenempfindung in der langwelligen Spektralhälfte 73
4. Ermittlung der neutralen Stelle im Blaugrün 73
5. Nachweis der Verkürzung am langwelligen Spektralende der Protanopen 73
B. Erkennung der Anomalen 74
1. Rayleigh-Gleichung der Normalen 76
2. „ „ „ Deuteranomalen 79
Extrem-Deuteranomale 81
3. Leicht-Deuteranomale 83
4. Rayleigh-Gleichung der Protanomalen 89
Extrem-Protanomale 90
5. Nachweis der sekundären Merkmale der Anomalen 97
Ermüdungsgleichungen 101
Absolute Gleichungen 103
6. Beziehungen zwischen anomaler Rayleigh-Gleichung und den sekundären Merkmalen. Farbenschwäche 107
Allgemeine Regeln für die Farbensinnprüfung 112
IV. Spezielle Methodik der Farbensinnprüfung 114
Tabellarische Übersicht des Ganges der Untersuchung aus Köllners „Anleitung" 126
Nagels Farbengleichungsapparat 129
V. Praktische Beurteilung der Farbensinnstörungen 132
Begriffsmerkmale des normalen Farbensinnes 138
„ der Farbentüchtigkeit 143
VI. Die Tafelproben von Nagel und Stilling 147
Cohns Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinnes 180
Nachtrag: Chromotestor nach Hegner 182

Verzeichnis

a) der Abbildungen im Texte.

Seite

Fig. 1. Sichtbares Spektrum eines Dichromaten 15
„ 2. „ „ „ „ normalen Trichromaten 15
„ 3. Königs Originalkurven des normalen und anomalen trichromatischen Systems 42
„ 4. Modell I des Nagelschen Anomaloskopes auf einem Grundbrett montiert 53
„ 5. Modell II desselben Instrumentes 53
„ 6. Spaltvorrichtung des Anomaloskopes 55
„ 7. Farbige Begrenzungen der oberen Gesichtsfeldhälfte des Apparates . . . 60
„ 8. Schematischer Längsschnitt durch Hegners Chromotestor 183

b) der lithographischen Tafeln am Schlusse.

Tafel I. Aichwertkurven der Dichromaten, schwarz 9
„ II. „ „ „ farbig 11
„ III. „ „ Anomalen, schwarz 41
„ IV. „ „ „ farbig 41
„ V. Fig. 1. Längsschnitt durch das Anomaloskop in Parallelperspektive . 54
„ 2. Senkrechter Längsschnitt (schematisch) 56
„ 3. Schematische Darstellung der an Modell II möglichen Einstellungen 60
„ VI. Tabellarische Zusammenstellung der Dichromaten-Gleichungen sowie der Rayleigh-Gleichung der Normalen und Anomalen 92

BOSTON MEDICAL
SEP 28 1916
LIBRARY.

Einleitung.

Wenngleich die theoretischen Untersuchungen über das Wesen und die Gliederung der Farbensinnstörungen durch die Forschungen von König und die lange Reihe der in methodischer Beziehung an ihn sich anschließenden Arbeiten zu einem gewissen vorläufigen Abschlusse gekommen sind, so bleiben in praktischer Hinsicht noch zahlreiche Details zu ergründen, die allem Anscheine nach nur an der Hand von größeren Statistiken der Lösung näher gebracht werden können. Die Arbeit des einzelnen erweist sich bei der Spärlichkeit des Materiales, das ihm naturgemäß zur Verfügung steht, hier als unzureichend, und er vermag meist nur bescheidene Beiträge für spätere umfassende Bearbeitungen zu liefern.

Erwägungen dieser Art waren auch für mich bestimmend, über meine im Laufe von 6 Jahren gewonnenen eigenen Erfahrungen auf dem Gebiete der Farbensinnprüfung Rechenschaft zu geben und sie dadurch der allgemeinen Benützung zugänglich zu machen. Auch erblicke ich in dem gegenseitigen Meinungsaustausche das wirksamste Mittel, persönliche Einseitigkeiten und Fehler — in die man namentlich dann leicht verfällt, wenn man allein in praktischer Tätigkeit steht, ohne Leitung und Kontrolle von maßgebender wissenschaftlicher Seite — zu korrigieren und den durch lokale Verhältnisse beengten Gesichtskreis zu einem umfassenden allgemeinen zu erweitern.

Unter reichlich 3000 mit dem Anomaloskope vorgenommenen Einzeluntersuchungen beobachtete ich, mit runden Zahlen abschließend, folgende Formen von Farbensinnstörung.

Dichromaten	220	Protanopen	80
		Deuteranopen	140
Anomale Trichromaten	440	Protanomale	40
		Deuteranomale	400
			660

Eine Häufigkeitsberechnung unterlasse ich absichtlich, weil es sich um mehrfach durchgesiebte Fälle handelt, die kein zutreffendes Zahlenverhältnis ergeben würden.

Bei der Zusammenstellung der Fälle und ihrer versuchten praktischen Deutung wurde mir immer klarer, daß man da vielfach mit Vorstellungen und Begriffen arbeitet, die keineswegs allgemein anerkannt und geläufig sind, sondern im Gegenteile viel Individuelles an sich tragen. Um richtig verstanden zu werden, war es also notwendig, auseinander zu setzen, von welchen Anschauungen ich mich dabei leiten ließ, und so bin ich allmählich dazu gekommen, eine gedrängte Zusammenfassung alles dessen zu bringen, was mir an theoretischen Kenntnissen zur Durchführung einer von zutreffenden wissenschaftlichen Grundsätzen geleiteten Farbensinnprüfung notwendig erscheint.

Eine solche Darlegung stößt auf keine wesentlichen Schwierigkeiten, weil das ganze Gebiet der partiellen Farbenblindheit (und zum Teile auch jenes der Farbensinnanomalien) durch eingehende experimentelle Studien sorgfältig durchgearbeitet ist und die für diagnostische Zwecke daraus abzuleitenden Grundsätze auch ohne Zuhilfenahme einer Theorie des Farbensehens leicht verständlich sind. Nur ist dabei ein ziemlich umfangreicher Stoff zu bewältigen.

Nicht mehr so einfach liegen die Verhältnisse, wenn man daran geht, die theoretischen Grundlehren zur praktischen Prüfung und Beurteilung der Farbensinnstörungen heranzuziehen. Es genügt dann keinesfalls die Darstellung der typischen Symptomenbilder, die ja relativ leicht zu fassen und zu begutachten sind, sondern man muß überall gerade den Grenzfällen besondere Aufmerksamkeit zuwenden, weil sie in der Regel die strittigsten sind. Und da zeigt sich bald, daß man bei der Mannigfaltigkeit der Formen kaum einen Satz niederschreiben kann, dem streng genommen nicht sofort gewisse Einschränkungen und Hinweise auf Ausnahmen folgen müßten. Wenn man da die Bilder nicht gar zu verwirrend gestalten und die leitenden Gesichtspunkte nicht ganz aus dem Auge verlieren will, dann heißt es, an den richtigen Stellen Maß halten und sich mit Andeutungen begnügen, in welcher Richtung Abweichungen vorzukommen pflegen. Der mit Bedacht Prüfende wird sich auch so leicht zurechtfinden und bald seine eigenen Wege gehen. Wenn also der erfahrene Leser so manches vermißt, was ihm erwähnenswert oder wichtig erscheint, so beruht das Fehlen nicht immer auf einem Übersehen.

Eine weitere mehr formelle Schwierigkeit liegt darin, daß die Mehrzahl der zu behandelnden Fragen fast das ganze Gebiet berührt, so daß man, um nicht undeutlich zu werden, da etwas vorwegnehmen, dort wiederholen muß, wodurch die Darstellung leicht schleppend und ermüdend wird. In diesem Punkte muß ich an die besondere Nach-

sicht des Lesers appellieren, da es wirklich leichter ist, hier strenge Kritik zu üben, als es besser zu machen.

Es gehört (nebst beherrschendem Können) ein ganz besonderes Geschick dazu, hier überall die richtige Mitte zu treffen und immer verständlich und anregend zu bleiben, wie es Köllner in seiner neuesten Anleitung wieder so glänzend gelungen ist[1]). Er hat darin die Grundwahrheiten und Kardinalregeln so meisterlich in lapidare Sätze zusammengefaßt, daß jeder einzelne für den, der sie zu lesen versteht, ganze Seiten spricht, und es wäre leicht, aus der dünnen Broschüre ein dickes Buch zu machen; das Gegenteil ist bekanntlich schwieriger.

Bei der theoretischen Darstellung habe ich mich nach Möglichkeit an die historische Entwicklung der Fragen gehalten, weil ich glaube, daß die Vorführung des Werdeganges das Verständnis am wirksamsten fördert und den Stoff am eindringlichsten dem Gedächtnisse einprägt. Solche Kenntnisse schützen auch am sichersten vor der Wiederentdeckung längst bekannter Tatsachen und bewahren vor kritischen Streifzügen in Gebiete, die bereits durch die Gedankenarbeit anderer klargestellt sind.

Die instruktivste Art, das Verständnis der einzelnen Formen von Farbensinnstörung zu erschließen, scheint mir die graphische Darstellung ihrer Aichwertkurven zu bieten, weil man dabei auf rein experimenteller Grundlage, ohne einer bestimmten Theorie zu folgen, zu einer geordneten Vorstellung über die einzelnen Farbensysteme und ihre Typen gelangen kann. Die Nomenklatur schließt sich allerdings der Helmholtzschen Theorie an, welche den gesamten Tatsachenkomplex wohl am einfachsten erklärt, auch mit den neueren Untersuchungen gut im Einklange steht, ja in ihnen eine weitere Bestätigung und Stütze findet. „Von dem Verhalten des normalen Sehorgans und seinen Beziehungen zu den typisch dichromatischen gibt sie in einfacher und genau zutreffender Weise Rechenschaft. Die etwas verwickelteren Verhältnisse der anomalen Trichromaten lassen sich ihr, wenn auch nicht ganz so einfach, doch in verständlicher Weise einfügen. Und sie gibt uns mindestens die einfachste Form, in der wir die beobachteten Erscheinungen geordnet und übersichtlich ausdrücken können[2])." Ich bringe die betreffenden Kurven einmal in ganz allgemeiner Darstellung (einfach schwarz ausgezogen) und dann nach der Dreikomponententheorie in den Farben Rot, Grün und Blau. Jede dieser Darstellungsweisen erleichtert einzelne Vorstellungen und erschwert wieder andere, so daß es wohl am besten ist, sich beide einzuprägen.

[1]) Anleitung zur Prüfung des Farbenunterscheidungsvermögens mittels des Anomaloskops für Bahnaugenärzte. Zeitschrift für Bahn- und Bahnkassenärzte 1913, Nr. 6, Leipzig, J. A. Barth.

[2]) v. Kries, in Helmholtz' Physiol. Optik, III. Aufl., 2. Bd., S. 360.

Auf den theoretischen Teil folgt zunächst eine Beschreibung des Anomaloskops, da eine solche in eingehender Form bisher nicht existiert. Daran schließe ich die praktische Diagnostik der angeborenen Farbensinnstörungen und die spezielle Methodik ihrer Prüfung am Anomaloskope. Auch die einfacheren Verfahren wurden nach Bedarf überall berücksichtigt. Dann wird die praktische Beurteilung der Farbensinnstörungen nochmals kurz zusammengefaßt, und im Schlußkapitel bespreche ich die Tafelproben von Nagel und Stilling, über deren Wert gerade in der letzten Zeit ein lebhafter Streit mit vehementen Angriffen gegen Nagels Probe ausgebrochen ist. Inzwischen hat der Führer der Sturmkolonne (Seydel) in seinem Geleitwort zu Köllners Anleitung merklich zum Rückzug geblasen[1]), und es steht wohl zu erwarten, daß die Waffen nun wieder beiseite gelegt werden und stille sachliche Arbeit und weitere Prüfung an Stelle eines Kampfes tritt, dessen Grundlagen und Voraussetzungen durchaus nicht einwandfrei waren.

Die Störungen des Farbensinnes sind in praktischer Hinsicht tatsächlich nicht so leicht zu übersehen. Nach den ersten hundert Untersuchungen am Anomaloskope ist man allerdings von der plötzlichen Klarheit, nach so langem Tappen im Dunkeln, derart geblendet, daß man gerne der Meinung Raum gibt, man beherrsche nun diese Fragen, und sich nicht nur berechtigt, sondern geradezu verpflichtet fühlt, mit seinen Erfahrungen hervorzutreten und Leitsätze aufzustellen. Mit jedem weiteren Hundert untersuchter Fälle bröckelt aber ein Teil dieser vermeintlichen Sicherheit ab, weil eine lange lückenlose Reihe gleichartiger Beobachtungen, die zu ganz bestimmten Schlüssen zu berechtigen schien, plötzlich durch eine Zahl von Fällen unterbrochen wird, die etwas ganz anderes besagen. Es heißt also auch hier, die richtige Mitte zwischen allzugroßer Zaghaftigkeit und allzukühnem Zugreifen zu finden.

Für die wichtigste Entdeckung der letzten Jahre auf dem Gebiete der Farbensinnstörungen halte ich die Feststellung Köllners, wie außerordentlich häufig die Ermüdbarkeit der Anomalen am Spektralapparate gesteigert erscheint. Das stärkere Hervortreten dieses sekundären Merkmales vermag das ganze Symtomenbild so mannigfaltig und wechselnd zu gestalten, daß sowohl Diagnose als praktische Beurteilung den größten Schwankungen unterliegen können und eine absolut sichere Entscheidung zwischen farbentüchtig und dem Gegenteile am Anomaloskope allein überhaupt kaum zu treffen ist. Hier müssen dann

---

[1]) Ein Geleitwort zu der von Dr. Köllner entworfenen Anleitung für die Farbensinnprüfungen. Von Dr. Seydel, Bahnaugenarzt in Breslau. Zeitschrift für Bahn- und Bahnkassenärzte 1913, Nr. 6.

auch die einfacheren Methoden in weitgehendster Weise herangezogen werden, und es bedarf oft der sorgfältigsten Abwägung und zielbewußten Zusammenordnung aller mit den einzelnen Proben festgestellten scheinbar auch noch so unbedeutenden Abweichungen, um die richtige Lösung zu finden oder ihr wenigstens möglichst nahe zu kommen. Das wichtige Symptom soll daher überall die eingehendste Würdigung finden.

Besonders sei noch hervorgehoben, daß ausschließlich die angeborenen Störungen zur Besprechung gelangen. Allein es kann nicht dringend genug empfohlen werden, bei allen atypischen Formen, bei Erkrankungen, welche die optischen Bahnen (von der Netzhaut bis zur Hirnrinde) in Mitleidenschaft ziehen, sowie bei Intoxikationen, welche erfahrungsgemäß das Farbensehen beeinträchtigen — vor allem Abusus von Alkohol und Tabak — auch an die Möglichkeit des Vorliegens erworbener Störungen zu denken.

Die Untersuchung dieser Formen gestaltet sich wesentlich schwieriger, da außer Feststellung der meist komplizierteren, in ihren Erscheinungen weitaus artenreicheren und vieldeutigeren Farbensinnstörung — bei Erkrankungen der Netzhaut tritt sie z. B. als Blaugelbblindheit auf — noch Sehschärfe, Spiegelbefund und Gesichtsfeld genauestens aufgenommen werden müssen, was ohne eingehende spezialistische Kenntnisse nicht verläßlich durchgeführt werden kann. Die beste Anleitung zur Untersuchung und Begutachtung dieser Fälle findet man in Köllners Lehrbuch der Farbensinnstörungen, das auch in der folgenden Darstellung reichlich benützt und viel zitiert ist.

I. Theoretische Einführung.

Es kann heute wohl als feststehend angenommen werden, daß sich die mit abweichendem Farbensehen ausgestatteten Sehorgane in ihrer Affizierbarkeit durch verschiedene Lichter, d. h. in der Beschaffenheit der ihnen gleich erscheinenden Lichter in ganz charakteristischer Weise unterscheiden. Wenn wir also über die Leistungsfähigkeit eines Auges in bezug auf Erkennung und Unterscheidung von Farben Aufschluß erhalten wollen, so brauchen wir nur zu ermitteln, welche Lichter für dasselbe gleich aussehen. „Die Einsicht, daß es sich so verhält, daß die optischen Gleichungen ein für die Charakterisierung der Sehorgane maßgebendes Kriterium darstellen, die hierauf gegründete Auseinanderhaltung der verschiedenen Formen des Sehorgans, des farbentüchtigen, der zwei Arten des dichromatischen (farbenblinden) und der zwei Arten des farbenschwachen (anomalen), und die Möglichkeit, die Sehweise eines jeden derselben, somit auch ihre Unterschiede in präziser Weise anzugeben; dies scheint mir der wichtigste Ertrag der neueren Untersuchungen zu sein[1])."

Dieses Prinzip der optischen Gleichungen im weitesten Sinne liegt denn auch seit Holmgren den meisten Prüfungsmethoden zugrunde (ausgenommen sind nur die Kontrastproben). Fast bei allen kommt es darauf an, zu einem gegebenen farbigen Objekte die ihm gleich erscheinenden auszuwählen oder über die Gleichheit, beziehungsweise Ungleichheit mehrerer in bestimmter Anordnung dargebotenen Farbenfelder zu urteilen (pseudoisochromatische Tafeln nach Nagel und Stilling; pseudoisochromatische Gleichungen mit veränderlichen farbigen Gläsern in Nagels und Köllners Lampe usw.). Die höchste Vollendung erreicht die Methode in der Vergleichung spektraler Lichter, die in ihrer absoluten Reinheit die Verwendung sekundärer Kriterien für derartige Unterscheidungen ausschließen.

Die für die einzelnen Formen von Farbensinnstörung bezeichnenden spektralen Gleichungen sind nun längst festgestellt, und ihre

[1]) v. Kries, in Helmholtz' physiolog. Optik, III. Aufl., 2. Bd., S. 377.

theoretische Darlegung im allgemeinen, sowie die praktische Ermittlung im Einzelfalle bilden das eigentliche Ziel aller diagnostischen Bestrebungen und somit auch den Inhalt dieser Ausführungen.

Farbensysteme.

Das Farbensehen eines Menschen wird durch die Anzahl der möglichen Farbenunterscheidungen bestimmt. Die Gesamtheit der Farbenempfindungen, deren ein Individuum überhaupt fähig ist, fassen wir nach v. Kries[1]) unter der Bezeichnung eines Farbensystems zusammen. Die Mannigfaltigkeit dieser Empfindungen unterscheidet die einzelnen Formen.

Wir bestimmen ein System in der Weise, daß wir durch das ganze Spektrum hindurch feststellen, welche Lichter und Lichtmischungen den einzelnen homogenen Lichtern desselben gleich aussehen. Durch eine derartige Ermittlung können wir die Beschaffenheit verschiedener Sehorgane in einer durchaus präzisen Weise charakterisieren. Wir erfreuen uns dabei des großen Vorteiles, von jeder Farbenbenennung vollständig unabhängig zu sein, indem der Untersuchte nur anzugeben hat, ob zwei Lichter gleich aussehen oder nicht, ein Ergebnis der Beobachtung, über dessen Sinn wohl kaum ein Zweifel aufkommen kann.

Diese Aufgabe wird dadurch ganz wesentlich erleichtert, daß die Gesamtheit der physiologischen Wirkungen im optischen Empfangsorgane im Verhältnis zu den physikalischen Reizen und psychologischen Empfindungen eine sehr beschränkte ist. Im großen und ganzen lassen sich die physiologischen Valenzen aller Lichter und Lichtgemische als die Funktion dreier Variablen erschöpfend darstellen. Innerhalb eines gewissen Bereiches erhalten wir alle Empfindungen, wenn wir z. B. einerseits die Wellenlänge eines einfachen Lichtes (den Farbenton), zweitens das Verhältnis seiner Mischung mit einem farblosen Gemisch (die Sättigung) und drittens die Intensität des so erhaltenen Gemisches (seinen Helligkeits- oder Dunkelheitsgrad) variieren[2]).

Noch anschaulicher kommt dieses Verhalten darin zur Erscheinung, daß wir durch Mischung beliebig vieler Lichter keine anderen Reizerfolge erzielen können, als durch Mischung von 3 Lichtern, oder m. a. W., daß für das farbentüchtige Auge zu jedem beliebigen Lichte oder Lichtgemische eine diesem gleich aussehende Mischung dreier Lichter hergestellt werden kann, wenn auch nicht bei allen Farben mit voller Sättigung. Man nennt des-

[1]) Über Farbensysteme, Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. XIII, 1897.

[2]) v. Kries, Die Gesichtsempfindungen in Nagels Handbuch der Physiologie, S. 134.

halb ein solches Farbensystem ein trichromatisches, und Personen, die damit ausgestattet sind, Trichromaten.

Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß die 3 Lichter, durch deren Mischung man alle für den normalen Farbensinn überhaupt denkbaren Farbentöne herstellen will, zweckentsprechend gewählt sein müssen. Als dazu geeignet erweisen sich z. B. Rot, Grün und Blau. Aus Rot und Grün kann man alle zwischenliegenden Lichter der langwelligen Spektralhälfte, aus Grün und Blau alle zwischenliegenden Farbentöne des kurzwelligen Spektralteiles mischen; aus Rot und Blau erhält man Violett, endlich aus Rot und Violett die Purpurtöne, welche die Reihe der reinen Lichter in geometrischer Darstellung zu einer geschlossenen Linie ergänzen. Durch geeignete Mischung von allen 3 Farben kann man die Sättigung jeder einzelnen Farbe bis zur völligen Farblosigkeit, zum Weiß herunter, bestimmen.

Noch einfacher liegen die Verhältnisse bei den beschränkteren Farbensystemen, mit denen wir unsere Betrachtung beginnen wollen, weil die Methodik ihrer Analyse ebenso leicht zu übersehen als darzustellen ist.

A. Dichromatische Systeme.

Für den partiell Farbenblinden z. B. reichen schon zwei, den Enden des Spektrums entnommene Lichter aus, um alle überhaupt möglichen Reizeffekte herzustellen. Jedes beliebige Licht sieht für ihn gleich aus, wie ein rotes oder blaues Licht von bestimmtem Stärkeverhältnis, beziehungsweise wie eine Mischung bestimmter Mengen beider Lichter. Die ohnehin schon beschränkte Mannigfaltigkeit der Erregbarkeiten, die ein normales Sehorgan besitzt, erscheint hier nochmals reduziert und „ähnlich wie etwa ein körperliches Gebilde durch die Projektion auf eine Ebene zusammengeschrumpft" (v. Kries)[1].

Die Feststellung der Intensität des einfachen Lichtes, sowie die quantitative Bestimmung des Mengenverhältnisses, in welchem die zwei Lichter gemischt werden müssen, um die gleiche Farbenempfindung auszulösen, wie die Reihe der homogenen Lichter, nennt man nach v. Kries die Aichung eines Spektrums; die zwei Mischlichter Aichlichter und ihre gefundenen Mengenanteile Aichwerte[2].

---

[1] Die Gesichtsempfindungen in Nagels Handbuch der Physiologie, S. 151.

[2] Ebenda, S. 152. Nagel, Sinnesphysiologie II, in Tigerstedts Handbuch der physiol. Methodik, S. 85. Köllner, Die Störungen des Farbensinnes, S. 36.

Aichung eines solchen.

Bei der Aichung eines dichromatischen Systems geht man in der Weise vor, daß man die eine Hälfte des etwa 2 bis 3° im Durchmesser haltenden kreisrunden Objektfeldes eines großen (z. B. Helmholtzschen) Mischapparates für Spektralfarben mit einem homogenen Lichte erleuchtet, die andere Hälfte dagegen entweder mit einem bestimmten Rot (etwa **650** $\mu\mu$), oder einem bestimmten Blau (etwa **450** $\mu\mu$), oder mit einer Mischung von beiden beschickt.

Das einfache Licht wird in seiner Intensität, das Zweifarbengemisch in Mengenverhältnis und Helligkeit solange verändert, bis beide Hälften vollkommen gleich erscheinen. Diese Bestimmung wiederholt man für **15** bis **20** homogene Lichter durch das ganze Spektrum hindurch und erhält so für jedes einzelne derselben die zahlenmäßigen Rot- und Blauquantitäten des ihm gleich erscheinenden binären Lichtgemisches. Die Rotanteile werden nach Donders auch als Warmwerte (W), die Blauanteile als Kaltwerte (K) bezeichnet.

Für die langwelligen Lichter des Spektrums erhält man mit dem roten Aichlichte allein bei geeigneter Intensität (ausgedrückt durch die Spaltweite, die dem roten Lichte gegeben werden muß) eine wahre Gleichung, der Blauwert ist Null. Erst bei **540** $\mu\mu$ kommt man an eine Grenze, wo mit dem roten Aichlichte allein (durch bloße Spaltveränderung) keine Gleichung mehr zu erzielen ist. Das Licht von **530** $\mu\mu$ erscheint dem Dichromaten gegenüber dem nebenstehenden roten Aichlichte schon deutlich weißlicher, ungesättigter, was als Ausdruck dafür gilt, daß bereits ein wesentlicher Blauwert vorhanden ist. Um Gleichung zu erzielen, muß dem Lichte von **650** $\mu\mu$ ein kleiner Zusatz von Blau gegeben werden, und man hat von hier an sowohl den Rotwert, als den Blauwert zu notieren. Weiterhin sinken die Rotwerte immer mehr, die Blauwerte nehmen beständig zu, bis im Indigo bei etwa **460** $\mu\mu$ eine Stelle kommt, wo Gleichung mit dem blauen Lichte allein (ohne Rotzusatz) möglich ist. Schließlich sinken auch die Blauwerte allmählich und sind wegen der geringen Intensität der Lichter gegen das kurzwellige Ende hin überhaupt nicht mehr genau zu bestimmen.

Aichwertkurven.

Trägt man die Wellenlängen der homogenen Lichter als Abszissen in ein Koordinatensystem ein und als Ordinaten die für die Gleichheit erforderlichen Rot- und Blaumengen (W- und K-Werte), so erhält man Aichwertkurven, welche die Verhältnisse der Lichtmischung sehr übersichtlich veranschaulichen. (Taf. I bis IV.)

Die Erfahrung hat gelehrt, daß man bei Untersuchung aller dichromatischen Systeme überhaupt nur drei verschiedene Typen von Aichwertkurven erhält, die stets in gleicher Form

wiederkehren: zwei nach Lage und Gestalt verschiedene W-Kurven in der weniger brechbaren Spektralhälfte, und eine immer gleiche K-Kurve in der brechbareren Hälfte. Eine genauere Betrachtung der Kurvenbilder zeigt weiterhin, daß immer je zwei Kurventypen ein dichromatisches System zusammensetzen, wodurch sich drei verschiedene Grundformen herausheben, zwischen denen keine Übergänge existieren. Bei jedem System fehlt somit eine Kurventype, und v. Kries hat deshalb diese Arten des dichromatischen Sehens als Protanopie, Deuteranopie und Tritanopie bezeichnet[1]).

Bei der Protanopie ist die (vom langwelligen linken Ende des Spektrums an gezählte) erste Aichwertkurve nicht nachweisbar; bei der Deuteranopie fehlt die zweite, bei der Tritanopie die dritte. Bezeichnet man die am meisten rotwärts gelegene, der Deuteranopie eigentümliche Warmwertkurve als Wd; die gegen die Mitte des Spektrums anschließende, für Protanopie bezeichnende zweite Warmwertkurve als Wp, und die überall gleiche Kaltwertkurve mit K ohne Index, so erhält man für die drei dichromatischen Systeme folgende Kurvenpaare:

für die Protanopie: $Wp + K$
„ „ Deuteranopie: $Wd + K$
„ „ Tritanopie: $Wd + Wp$

Die Benennung nach der fehlenden Kurve mit Voranstellung der Ordnungszahl ergibt naturgemäß eine andere Reihenfolge, als die fortlaufende Zählung der nebeneinander stehenden Kurven. Die Warmwertkurve des Protanopen Wp ist in der Reihe die zweite, weil dem Protanopen eben die erste Kurve mangelt; die Warmwertkurve des Deuteranopen Wd wieder steht an erster Stelle, weil dem Deuteranopen die zweite Kurve fehlt.

Bei Protanopie und Deuteranopie findet man somit je eine verschiedene Warmwertkurve und in beiden Fällen die gleiche Kaltwertkurve; bei der Tritanopie dagegen nur die zwei Warmwertkurven, während die Kaltwertkurve vollständig fehlt. Zeichnet man die drei Kurvenpaare übereinander, so zeigt sich weiterhin, daß von den zwei Kurven jedes dichromatischen Systems immer die eine nach Lage und Form mit einer der Kurven der beiden anderen Systeme übereinstimmt, und die Gleichheit der einzelnen Kurventypen kommt dadurch um so deutlicher zum Ausdruck[2]).

Durch eine derartige Aichung kann man somit auf rein experimentellem Wege und frei von jeder theoretischen Annahme zu einer genauen Analyse des vorliegenden Farbensystems gelangen, und die dabei erhaltenen Kurventypen geben dann ohne weiteres die einwandsfreie Diagnose in graphischer Darstellung.

---

[1]) Ein Zustand, bei dem die 1., 2. und 3. Kurve fehlt; wörtlich zeigt die Endung . . . anopie das „Nichtsehen" an.

[2]) Köllner, Die Störungen des Farbensinnes, S. 39.

Der charakteristische Kurvenverlauf, der sich dabei für die einzelnen dichromatischen Systeme ergibt, lehrt ferner, daß auch das Farbensehen bei den Protanopen, Deuteranopen und Tritanopen ein verschiedenes sein muß (wenigstens was die Helligkeitsverhältnisse anbelangt); denn wäre dies nicht der Fall und das Farbensehen bei allen drei Formen das gleiche, dann müßten auch die Aichwerte und die darnach gezeichneten Kurven übereinstimmen.

Die Kurven auf den Tafeln I bis IV sind nach den von König ermittelten Reizwerten gezeichnet. Es wurden diese Zahlen speziell deshalb gewählt, weil König der einzige Forscher ist, der nicht nur dichromatische und normale, sondern auch anomale trichromatische Systeme quantitativ analysiert hat und sonstige numerische Aichwerte für letztere Gruppe überhaupt nicht vorliegen[1]).

Die Königschen Kurven gleichen nicht vollkommen den meist benützten v. Kriesschen, weil König (abgesehen von Unterschieden in bezug auf die benützte Lichtquelle, die Reinheit der Spektra u. a.) mit größeren Feldern und nicht mit hell adaptierten Augen arbeitete, aber die Übereinstimmung wird von v. Kries[2]) selbst als eine frappante bezeichnet, und die strenge Gewissenhaftigkeit und Genauigkeit, mit der König seine experimentellen Arbeiten ausführte, ist so über jeden Zweifel erhaben, daß gegen die Benützung dieser Zahlen gewiß nicht das mindeste einzuwenden ist.

Die Kurven sind in die Engelmannschen Tafeln zur Darstellung der Ergebnisse spektro-photometrischer Beobachtungen eingezeichnet und der Maßstab so genommen, daß die höchsten Intensitätswerte der drei Aichlichter auf 60 Engelmannsche Einheiten umgerechnet wurden, um so die Kurven möglichst anschaulich hervortreten zu lassen.

Die Berechnungen gelten für das Dispersionsspektrum des Gaslichtes. Die Zahlen der Abszissenlinien entsprechen den Wellenlängen der homogenen Lichter in milliontel Millimetern ($\mu\mu$), die Buchstaben zeigen die Frauenhoferschen Linien an. Die Reizwerte der einzelnen Aichlichter sind durch kleine Ringe bezeichnet, so daß man die Herstellung der rund ausgezogenen Kurven leicht übersieht und an der Hand von Königs Zahlen jederzeit nachprüfen kann.

Auf den Tafeln I und III sind die *Wd*- (Rot-)Kurven ausgezogen, die *Wp*- (Grün-)Kurven punktiert, die *K*- (Blau-)Kurven gestrichelt; die abweichenden Rot- und Grünkurven der Anomalen durch ausgezogene und punktierte parallele Doppellinien markiert.

Auf den Tafeln II und IV sind die Kurven in den betreffenden Farben wiedergegeben.

Ich bin mir dabei vollkommen bewußt, daß die Aichwertkurven nichts weiter darstellen, als die Gesetze der Drei- und Zweilichtermischung, wie sie experimentell für die einzelnen Systeme festgelegt wurden; sie geben lediglich an, welche Lichter und Lichtgemische bei ihrer Einwirkung auf das betreffende Sehorgan die gleichen Farbenempfindungen auslösen, wie die einzelnen homogenen Lichter des Spektrums. Die Beschaffenheit dieser Empfindungen wird dadurch in keiner Weise bestimmt, und man kann es den Aichwertkurven nicht ansehen, welche Farbentöne

---

[1]) Von den zwei aus dem v. Kriesschen Institute hervorgegangenen Arbeiten über anomale Systeme bringt jene von Lotze (über Deuteranomale) überhaupt keine Aichwertkurven, jene von Levy (über Protanomale) nur Peripheriewerte.

[2]) Über Farbensysteme, S. 259.

etwa der Dichromat im Spektrum unterscheidet. Mit einer Farbensinntheorie, wie etwa mit der Helmholtzschen Dreikomponententheorie, haben sie bis auf die äußere Ähnlichkeit nichts zu tun, und Köllner[1]) weist ausdrücklich darauf hin, daß das Zusammenwerfen beider, besonders bei den erworbenen Farbensinnstörungen, zu großen Trugschlüssen führen würde. Nichtsdestoweniger scheint mir die farbige Darstellung der Kurven das Verständnis der angeborenen Formen in mancher Hinsicht zu erleichtern, und man kann wohl um so weniger dagegen einwenden, als ja die ganze Lehre auf der Young-Helmholtzschen Theorie aufgebaut und an ihrer Hand am ehesten verständlich ist. Nur darf man nicht anderes herauslesen, als sie ausdrücken sollen, und z. B. nicht etwa annehmen, daß die Protanopen nur Grün und Blau, die Deuteranopen nur Rot und Blau sehen usw. Wer sie aus theoretischen Gründen ablehnt, mag sich an die Ausführung in Schwarz halten.

Die Helligkeitsverteilung im Spektrum des total Farbenblinden (der ja Farbenunterscheidungen überhaupt nicht machen kann) ist durch Kreuze, beziehungsweise graue Farbe veranschaulicht.

Um die Beziehungen der Kurven zu den einzelnen Spektrallichtern möglichst deutlich hervortreten zu lassen, wurden oben und unten Spektra mit ihren Farbenbezeichnungen hinzugefügt. Die Gipfelungen der einzelnen Kurventypen sind durch stärker ausgezogene senkrechte Linien hervorgehoben.

Deutung der Kurven.

Versuchen wir es nun, die Zeichensprache der Kurven in Worte umzusetzen und uns nach der graphischen Darstellung über die Art des Farbensehens bei den einzelnen Systemen zu orientieren.

Bei eingehenderer Betrachtung fällt sofort auf, daß die Warmwertkurve des Protanopen im ganzen mehr gegen die geringeren Wellenlängen hin verschoben ist. Ihr Gipfel (zugleich die hellste Stelle des Spektrums) liegt bei etwa **571** $\mu\mu$, im Grüngelb des Normalen. Das Auftreten der Warmwerte erst weiter ab vom langwelligen Ende läßt die Verkürzung des Spektrums an dieser Stelle erkennen. Die sehr niedrige Lage der Kurve schon bei Wellenlängen über **620** $\mu\mu$ zeigt den dort bereits sehr geringen und mit zunehmender Wellenlänge sich noch rapid vermindernden Reizwert der roten Lichter an.

Die im ganzen mehr rotwärts gelegene Warmwertkurve des Deuteranopen hat ihren höchsten Punkt bei etwa **603** $\mu\mu$ (im Orange des Normalen), von welcher Wellenlänge die Protanopenkurve noch weiter bis etwa **571** $\mu\mu$ ansteigt, während die Deuteranopenkurve in dieser Strecke schon beträchtlich absinkt. Der Warmwert eines Lichtes von **600** $\mu\mu$ beträgt so z. B. für den Deuteranopen **60**, für den Protanopen nur **35**; dagegen hat für den Protanopen erst ein Licht von **571** $\mu\mu$ einen Reizwert von **60**, welches für den Deuteranopen nur mehr einen solchen von **40** aufweist.

Das protanopische Sehorgan ist demgemäß innerhalb dieses Spektralbereiches gegenüber den kurzwelligen, das

[1]) Farbensinnstörungen, S. 37 u. 50.

deuteranopische gegenüber den langwelligen Lichtern relativ erregbarer, wodurch wir zu einem verhältnismäßig einfach zu gewinnenden und doch scharfen Unterscheidungsmerkmal beider Formen kommen, und zwar bei ausschließlicher Verwendung von Lichtern, die in den gelben Pigmenten der Augenmedien nicht merklich absorbiert werden.

Relative Intensitäten von Lithium, Natrium und Thallium.

Schon Donders[1]) hat 1884 bei den einzelnen dichromatischen Systemen das Verhalten der relativen Intensitäten von Na : Li und Na : Tl bestimmt und aus beiden das Verhalten von Tl : Li berechnet. Es erscheinen 10 Teile Na im Mittel gleich:

Für den Normalen	48·7 Li	22·7 Tl	1 Tl =	2·14 Li
Für den Deuteranopen	63·83 Li	24·56 Tl	1 Tl =	2·75 Li
Für den Protanopen	276 Li	12·19 Tl	1 Tl =	23·85 Li

Daraus erhellt, daß für den Deuteranopen das Intensitätsverhältnis sowohl von Na : Li, als von Na : Tl (und demnach auch von Tl : Li) mit dem bei normalen Systemen annähernd übereinstimmt; die hohen Werte für Li zeigen deutlich die auch bei Deuteranopen herabgesetzte Empfindlichkeit für rotes Licht. Durchaus verschieden dagegen sind diese Relationen bei den Protanopen. Die hier für Li gefundenen Zahlen betragen das 4·3fache, die für Tl erhobenen etwa die Hälfte der für Deuteranopen giltigen Werte. Dasselbe gelbe Licht wird vom Protanopen einem Li von 4- bis 5facher Intensität gleichgehalten, als vom Deuteranopen, anderseits ist wieder der Reizwert des Tl für den Protanopen etwa um die Hälfte größer, als für den Deuteranopen.

v. Kries[2]) hat diese Zahlen für Na und Li in noch exakter durchgeführten Untersuchungsreihen vollinhaltlich bestätigt. Er fand:

10 Teile Na im Mittel für Deuteranopen gleich **37** Li
10 „ „ „ „ „ Protanopen „ **207** „

(Die absolute Höhe der Zahlen kommt dabei nicht in Betracht, da sie von den Untersuchungsbedingungen abhängt; entscheidend ist nur ihr gegenseitiges Verhältnis.)

Die Mengen roten Lichtes, die Protanopen und Deuteranopen erfordern, um Gleichheit mit einem gegebenen Gelb zu erzielen, verhalten sich demnach etwa wie **5 : 1**, d. h. der Protanop muß zu

[1]) Farbengleichungen, S. 527.
[2]) Farbensysteme, S. 259. Gesichtsempfindungen, S. 156.

diesem Zweck dem Rot eine Intensität geben, bei der es für den Deuteranopen (sowie für den Farbentüchtigen) etwa 5mal so hell erscheint, als das Gelb; beziehungsweise er wird zu einem bestimmten Rot, dessen Lichtstärke er nicht steigern kann, ein etwa 5mal dunkleres Gelb einstellen, denn um soviel erscheint ihm der Reizwert des Rot geringer.

Anderseits ergibt sich aus den angeführten Zahlen von Donders, daß der Reizwert des Grün für den Protanopen etwa doppelt so groß ist, als für den Deuteranopen; ein gegebenes Grün wird ihm daher heller erscheinen, und er wird zur Gleichung ein helleres Gelb wählen als der Deuteranop. Durch diese wesentlich verschiedenen und ganz typischen Äquivalenzverhältnisse in der längerwelligen Spektralhälfte sind die zwei genannten Dichromatengruppen scharf charakterisiert und leicht auseinanderzuhalten.

Nicht ohne Interesse dürfte es sein, die graphische Darstellung der quantitativen Analyse eines dichromatischen Systems mit dem Spektrum der Dichromaten zu vergleichen.

Spektrum der Dichromaten. (Fig. 1.)

Für die Dichromaten (wo es nicht ausdrücklich erwähnt ist, sind darunter immer nur Protanopen und Deuteranopen zu verstehen) zerfällt das Spektrum bekanntlich in zwei Hälften, deren Farben einen scharfen Gegensatz zueinander darstellen. Die warme Hälfte, welche von einem etwas gelblichen Grün bis zum äußersten Rot reicht, wird von den partiell Farbenblinden im allgemeinen **gelb** genannt; die kalte Hälfte, welche vom Blaugrün bis zum Violett reicht, bezeichnet er in der Regel als **blau.** Zwischen der warmen und kalten Hälfte liegt eine Übergangszone (neutrale Strecke, etwa zwischen **490** und **500** $\mu\mu$), in der die Farben immer weißlicher, ungesättigter werden, um schließlich bei einer vom Normalen als bläulichgrün bezeichneten Stelle in Farblosigkeit (weiß, beziehungsweise grau) überzugehen (neutraler Punkt).

Endstrecken der Normalen. (Fig. 2).

An beiden Enden des Spektrums sind gewisse Strecken vorhanden, innerhalb deren sich für den Normalen der Farbenton nicht ändert, sondern nur die Helligkeit. Lassen wir am roten Ende etwa von **650** $\mu\mu$ ab die Wellenlänge noch weiter wachsen, oder am violetten Ende etwa von **430** $\mu\mu$ ab noch weiter abnehmen, so ändert sich die physiologische Wirkung nicht anders, als wenn wir das ursprüngliche Licht in seiner Stärke verändern. Man bezeichnet diese Strecken nach König als Endstrecken, und je zwei Lichter einer solchen Endstrecke geben

Sichtbares Spektrum.

Fig. 1. **Eines Dichromaten** (nach Nagel).

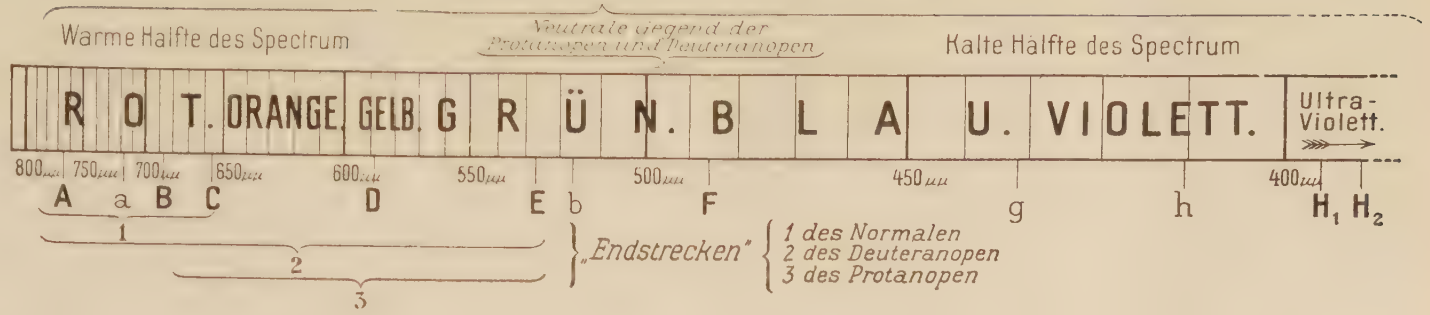
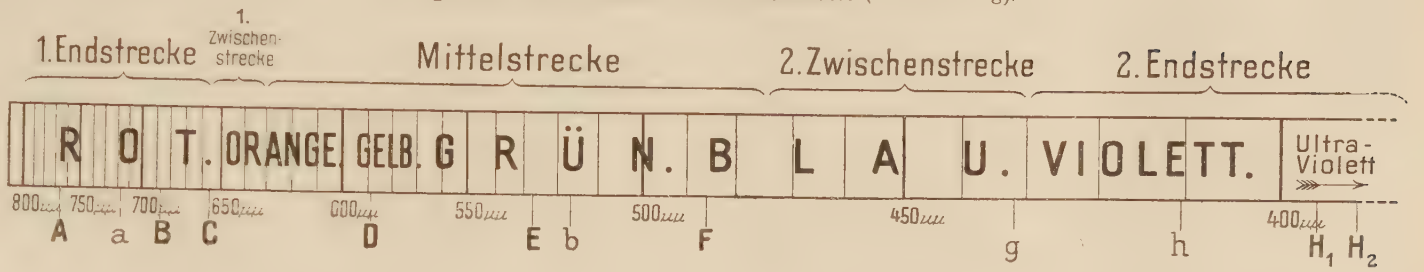

Warme Hälfte des Spectrum
Neutrale Gegend der Protanopen und Deuteranopen
Kalte Hälfte des Spectrum
R O T. ORANGE. GELB. G R Ü N. B L A U. VIOLETT.
Ultra-Violett.
800 750 700 650 600 550 500 450 400
A a B C D E b F g h H1 H2
1
2
3
„Endstrecken"
1 des Normalen
2 des Deuteranopen
3 des Protanopen

Fig. 2. **Eines normalen Trichromaten** (nach König).


1. Endstrecke
1. Zwischenstrecke
Mittelstrecke
2. Zwischenstrecke
2. Endstrecke
R O T. ORANGE. GELB. G R Ü N. B L A U. VIOLETT.
Ultra-Violett
800 750 700 650 600 550 500 450 400
A a B C D E b F g h H1 H2

miteinander Gleichung, wenn nur das Helligkeitsverhältnis richtig gewählt wird.

Endstrecken der Dichromaten.

Auch die Dichromaten haben Endstrecken, und zwar ist bei ihnen namentlich jene am roten Ende des Spektrums ganz bedeutend verlängert. Rot, Orange, Gelb und noch ein wesentlicher Teil des Grün (bis etwa **540** $\mu\mu$) sind für den Rotgrünblinden alle von gleichem Farbenton, nur verschieden in der Helligkeit. Diese Verlängerung der langwelligen Endstrecke ist neben dem Vorhandensein des neutralen Punktes die auffallendste Erscheinung am Spektrum des Dichromaten.

Der Defekt in der Roterregbarkeit beim Protanopen, die merkliche Verkürzung am roten Ende des Spektrums, kommt auch in dieser Darstellung deutlich zum Ausdruck, indem die langwellige Endstrecke erst bedeutend weiter nach rechts beginnt, als beim Normalen und Deuteranopen. Das äußere Rot, etwa von der Linie B an, sieht der Protanop überhaupt nicht, es wirkt auf sein Sehorgan nicht, während rechts davon das Rot zwischen B und C schon deutliche Lichtempfindung bewirkt, wenn auch schwächer als beim Normalen und höchst wahrscheinlich nicht in der Empfindungsqualität „rot".

Auch am violetten Ende ist die Endstrecke für den Dichromaten etwas verlängert, d. h. sie reicht noch etwas in das Indigo hinein (bis etwa **465** $\mu\mu$), so daß zwischen Blau und Violett kein Unterschied besteht; doch ist die Abweichung gegen den Normalen hier lange nicht so groß, wie am roten Ende. Zwischen beiden Endstrecken liegen die weißlichen Schattierungen von Gelb und Blau bis zum reinen Grau des neutralen Punktes.

Vergleich der Kurven mit dem Bande des Spektrums.

Betrachtet man daraufhin die Kurven beider Aichlichter eines Dichromaten, so zerfällt das Spektrum auch in dieser Darstellung deutlich in zwei Hälften; der Schnittpunkt beider Kurven gibt die neutrale Stelle, die Abszisse desselben ihre Wellenlänge. Die langwelligen Endstrecken der Protanopen und Deuteranopen reichen soweit, als nur ein Aichlicht vorhanden, beziehungsweise das zweite gleich Null ist, denn in diesem Abschnitte bestehen für den Dichromaten keine Farben-, sondern nur Intensitätsunterschiede. Die *Wd*-Kurve kann man bis über **540** $\mu\mu$ hinaus ohne Blauzusatz führen, die *Wp*-Kurve noch weiter gegen das kurzwellige Ende über **520** $\mu\mu$ hinaus, und soweit reichen auch die langwelligen Endstrecken beider Formen. Eine typische Anordnung der Schnittpunkte in diesem Sinne ist indessen nicht zu erweisen, weil die physikalische Absorption durch wechselnde Macula-Pigmentierung gerade in dieser Region be-

sonders zur Geltung kommt und infolgedessen die individuellen Verschiedenheiten gegen die typischen System-Differenzen überwiegen[1]).

Die Mitte des Kurvenbildes, soweit sie Reizwerte für beide Aichlichter aufweist, bezeichnet die dichromatische Mittelstrecke, deren kontinuierlich ineinander übergehende Farbentöne nur durch Mischung der Aichlichter beider Endstrecken erzeugt werden können.

Der ganze rotwärts davon gelegene Abschnitt, der für den Normalen Rot, Orange, Gelb und Gelbgrün umfaßt und für den bei der Aichung nur das langwellige Licht in Betracht kommt, wird in Abstufungen einer warmen Farbe gesehen; die ganze blauwärts gelegene Strecke, für deren Aichung wir mit dem kurzwelligen Lichte allein auskommen und die für den Normalen vom Blaugrün über Cyan, Indigo bis zum Violett reicht, in verschiedenen Helligkeitsstufen einer kalten Farbe.

Farbenton der warmen Spektralhälfte.

Es wird vielleicht auffallen, daß wir die Farben, welche der Dichromat in der langwelligen Spektralhälfte sieht, bei der Aichung dieses Abschnittes aus Rot und Blau mischen, während er sie nach den herrschenden Lehren in verschiedenen Abstufungen von Gelb sehen soll.

Im ersten Falle haben wir eine experimentelle Tatsache vor uns, die nichts weiter beweist, als daß wir durch die Mischung von zwei Endlichtern die gleiche physiologische Erregung hervorrufen können, wie sie die zwischenliegenden homogenen Lichter erzeugen, worauf ja das Wesen eines dichromatischen Systems beruht; die Wellenlängen dieser Aichlichter können innerhalb gewisser Grenzen verschieden gewählt werden.

Im zweiten Falle dagegen handelt es sich um die Frage, welche Farben die Dichromaten überhaupt sehen. Das können wir begreiflicherweise nicht von ihnen selbst durch Mitteilung oder Beschreibung erfahren, weil sie dabei sprachliche Bezeichnungen verwenden müssen, für welche ihnen die äquivalenten Empfindungen fehlen.

Daß der Farbenton, in dem sie die warme Hälfte des Spektrums sehen, gelb sei, wird hauptsächlich durch die Angaben von einseitig Farbenblinden gestützt, bei denen das zweite farbentüchtige Auge eine Kontrolle der Bezeichnungen gestattete, sowie durch die Erfahrung, daß Farbenblinde beim Nachmalen des Spektrums in der langwelligen Hälfte vorwiegend gelbe Töne verwenden. Keineswegs aber nennen sie die warmen Farben immer nur gelb, sondern sie verwenden sehr häufig auch die Bezeichnungen rot und grün, da sie den durchgreifenden Unterschied dieser Farben gegen Gelb, wie ihn der Farbentüchtige sieht, nicht richtig auffassen können. Und daß z. B. in einem Fall, wo der Dichromat von Rot spricht, nur die eine warme Farbenempfindung in großer Sättigung vorliege, erscheint wohl denkbar, läßt sich aber aus den Angaben der Farbenblinden selbst nicht so ohne weiteres entnehmen. Zudem lauten die Benennungen oft ganz verschieden, je nach-

[1]) In unserer Darstellung haben die Kurven durch Umrechnung auf gleiche Höhe einen gestreckteren Verlauf erhalten, wodurch auch ihre Schnittpunkte derart verschoben wurden, daß sie mit den angegebenen Zahlen nicht genau übereinstimmen.

dem man ein ganzes Spektrum betrachten läßt, oder nur schmale Ausschnitte desselben.

Eher können wir auf Grund von theoretischen Annahmen zu einer Vorstellung darüber gelangen, wie Dichromaten das Spektrum sehen.

Nehmen wir an, daß die Kurven (nach der Young-Helmholtzschen Theorie) die Funktionen gewisser hypothetischen Sehsubstanzen (Komponenten) des peripheren Sehorgans charakterisieren, und daß uns die zwei Warmwertkurven die Empfindung von Rot und Grün vermitteln, so können wir uns im Sinne Königs die zwei ersten dichromatischen Systeme aus dem trichromatischen in der Weise entstanden denken, daß die Gestalten der Intensitätskurven immer ähnlicher werden und sich so gegeneinander verschieben, bis z. B. die Rotkurve völlig mit der unverändert gebliebenen Grünkurve zusammenfällt oder umgekehrt. Die Empfindung, welche dieser durch Deckung entstandenen Kurve entspricht, würde dann die Resultante der Empfindungen Rot und Grün bei gleicher Stärke sein, das ist ein Gelb von der ungefähren Wellenlänge von 575 $\mu\mu$ [1]).

Sehr einfach läßt sich der ganze Erscheinungskomplex nach der Heringschen Theorie erklären, ohne sich überhaupt auf den unsicheren Boden jener Frage zu begeben, was der Farbenblinde sieht. Bei Fehlen des Rotgrünsinnes, beziehungsweise der Rotgrünsubstanz, verbleiben dem Dichromaten eben nur eine mit der unsrigen übereinstimmende Empfindung des Farblosen, sowie eine ungestörte Gelb- und Blauempfindung.

Die tatsächliche Begründung der Annahme, nach welcher die Dichromaten rotgrünblind und gelbblausehend sind, ist somit eine recht dürftige, und es wird wohl noch lange eine offene Frage bleiben, ob die Farbenblinden die warme und die kalte Hälfte des Spektrums wirklich gelb und blau sehen, sowie ob Protanopen und Deuteranopen sie gleich sehen.

Farbensehen der Dichromaten.

Aus der Lage des Schnittpunktes beider Kurven erhellt, daß die Dichromaten ein Licht, welches dem Normalen blaugrün erscheint, farblos sehen, indem die beiden gleich stark erregten gegensätzlichen Komponenten, die warme und die kalte, die Empfindung der Farblosigkeit ergeben müssen.

Das diesem Blaugrün bei der Aichung gleichwertig gefundene Rot-Blaugemisch sieht der Normale purpurfarben; die Dichromaten verwechseln daher zwei Farbentöne, welche für den Farbentüchtigen den höchsten Sättigungsgrad besitzen (Blaugrün und Purpur) mit farblosem Grau. Will man diese zwei Farben schlechthin Grün und Rot nennen, so kann man in rein systematischem Sinne beide Arten von Dichromaten als Rot-Grün-Verwechsler (König)[2]) gelten lassen; doch ist die Bezeichnung insofern keine ausreichende, als sie den großen Unterschied beider Gruppen außer acht läßt, der gerade bei diesen Gleichungen sehr auffallend ist. Wie sich aus den schon angeführten

[1]) König, Gesammelte Abhandlungen, S. 104. Th. Youngs Farbentheorie.

[2]) Zur Kenntnis dichromatischer Farbensysteme, Gesammelte Abhandlungen, S. 12.

Mischungstatsachen ergibt und wie die direkte Beobachtung lehrt, muß der Protanop, um ein dem Blaugrün gleich erscheinendes Gemisch herzustellen, einem sehr lichtstarken Rot einen relativ geringen Blauzusatz geben; der Deuteranop erfordert etwa die gleiche Blaumenge, doch mit weit weniger Rot. Der Protanop verwechselt also ein leicht bläuliches Rot mit einem dem normalen Auge viel dunkler erscheinenden Grün (Scharlachrot mit Olivgrün); der Deuteranop ein erheblich bläulicheres Rot und ein Grün, die auf das normale Auge etwa den Eindruck gleicher Helligkeit machen. Das Rot, welches für den Protanopen, respektive Deuteranopen einem bestimmten Grün gleich aussieht, erscheint somit dem Normalen sowohl nach Farbenton als Intensität ungemein verschieden[1]). Damit sind zugleich die drei Haupt-Verwechslungsfarben der Dichromaten (Rosa, Blaugrün und Grau) gegeben.

Sehr interessante und lehrreiche Bemerkungen über das Verhalten der Dichromaten gegen das Spektrum, sowie gegen die Pigmentfarben findet man in Nagels „Einführung"[2]). Als Kostprobe, die eindringlichst zur Lektüre dieser ganz ausgezeichneten und in ihrer Art einzigen Anleitung auffordern soll, zitiere ich daraus folgende Stellen:

„Die gefärbten Gegenstände senden, wie bekannt, keine spektralreinen Strahlen, sondern mehr oder weniger unreine Strahlengemische aus. Eine rote Laterne und ebenso eine rote Fahne senden nicht etwa nur rote, sondern auch orangefarbene und gelbe, unter Umständen sogar noch grüne Strahlen in unser Auge. Allerdings bilden die roten Strahlen den Hauptanteil an dem Gemisch, und der Protanop, auf den, wie wir sahen, wenigstens die Strahlen des äußeren Rot nicht wirken, sieht daher ein solches rotes Objekt viel dunkler, als es dem Normalen erscheint. Ein recht tiefes Rot, etwa tiefroter Samt, sieht für den Protanopen einfach schwarz aus.

Rosarote Stoffe strahlen bekanntlich hauptsächlich rotes und blaues Licht gemischt aus. Ist das Mischungsverhältnis etwa so, wie bei der Rose „la France" oder bei der Alpenrose, so sieht eine solche Blüte für den Deuteranopen nahezu farblos, grau, aus, die beiden komplementären Farben, die warme und die kalte, heben sich auf. Das kann natürlich nicht gleichzeitig für den Protanopen gelten, dessen Unterempfindlichkeit für Rot vielmehr das Blau für ihn viel stärker hervortreten läßt. Der Protanop sieht denn auch die genannten Blüten blau oder doch stark bläulich. Dafür erscheinen dem Protanopen manche andere Blüten, die einen Übergang zwischen Purpur und Scharlachrot zeigen, farblos, grau, dem Deuteranopen dagegen in einem warmen gelblichen Ton.

Wenn man die Farbenbezeichnungen der Dichromaten beachtet, so findet man, daß diese auffallend selten Fehler machen, jedenfalls viel seltener, als man nach ihrer Hilflosigkeit spektralen Farben gegenüber erwarten sollte. Das beruht großenteils auf der Erfahrung darüber, wie der Normale die Gegenstände bezeichnet. Der Farbenblinde weiß, daß es blaugrüne und gelblichgraue Blüten kaum gibt, und daß

[1]) v. Kries, Gesichtsempfindungen, S. 159.

[2]) Einführung in die Kenntnis der Farbensinnstörungen und ihre Diagnose, Wiesbaden, J. F. Bergmann, 1908.

sie, wenn sie ihm so aussehen, meistens in Wirklicheit rosa sind. Ähnliche Fälle von Schlüssen aus der Erfahrung ließen sich unzählige angeben."

Zahlenmäßige Aichwerte.

Auch eine zahlenmäßige Zusammenstellung der Aichwerte für Protanopie und Deuteranopie bringt wesentliche Belege zu den bisherigen Ausführungen. Die folgende Tabelle enthält im ersten Stabe die Wellenlängen der homogenen Lichter, im zweiten und dritten die von Sehrwald und Nagel gemachten Einstellungen.

Beispiel für die Aichwerte eines Protanopen und Deuteranopen.

Wellenlänge des homogenen Lichtes	I. Protanopie		II. Deuteranopie	
	Beobachter Dr. Sehrwald		Beobachter Dr. Nagel	
	Rotwerte	Blauwerte	Rotwerte	Blauwerte
670·8 μμ	5·3		33	
656 μμ	9·1		48	
642 μμ	19		79	
628 μμ	38		107	
615 μμ	63		147	
603 μμ	90		151	
591 μμ	109		137	
581 μμ	111		124	
571 μμ	120		103	
561 μμ	108		82	
552 μμ	92		64	
544 μμ	78		52	
536 μμ	65		41	6·3
525 μμ	38·3	11·0	26	12
515 μμ	20·6	34	15	28
505 μμ	9·8	35	7·7	36
496 μμ	4·8	47	3·7	48
488 μμ	2·2	57	1·6	62
480 μμ	0·9	66	0·9	64
469 μμ	0·3	67	0·3	70
460·8 μμ	—	54	—	67

Der relativ sehr geringe Reizwert der langwelligen Lichter für das protanopische Auge kommt in den niedrigen Aichwerten des Protanopen gegenüber jenen des Deuteranopen deutlich zum Ausdruck. Die höchsten Aichwerte bezeichnen die hellsten Stellen im Spektrum und ihre oben angegebene differente Lage wird klar ersichtlich. Die langwelligen Endstrecken reichen soweit, als nur Rotwerte vorhanden sind; Blauwerte finden sich erst bei Lichtern einer Wellenlänge von etwa

530 $\mu\mu$ ab. Das grünlichgelbe Licht von 550 $\mu\mu$ hat für den Protanopen etwa den 20fachen Reizwert von dem des roten mit 670 $\mu\mu$ (5 und 92), für den Deuteranopen etwa den doppelten (33 und 64) usw.[1]).

Neben diesen charakteristischen Unterschieden besteht doch auch eine gewisse Übereinstimmung zwischen beiden Gruppen, indem die Verteilung der Blauwerte im Spektrum, von den Modifikationen durch physikalische Verhältnisse abgesehen, für alle Dichromaten dieselbe ist.

Tritanopie.

Die Tritanopie, die bisher mit Sicherheit nur erworben beobachtet wurde, soll hier nur soweit erwähnt werden, als es zur Charakterisierung des Systems notwendig erscheint. Auch bei dieser Form genügt die Mischung zweier, den Endstrecken entnommenen Lichter, um alle überhaupt vorkommenden Reizarten herzustellen; das Sehen ist somit auch hier ein typisch dichromatisches.

Unzerlegtes Licht wird, wie vom Normalen, weiß, farblos gesehen und diesem gleich erscheint ein Grüngelb von etwa 570 $\mu\mu$, dessen Stelle den neutralen Punkt des tritanopischen Systems darstellt. Lichter von größerer Wellenlänge werden im allgemeinen rot, die von kleinerer Wellenlänge grün oder auch blau genannt; das am kurzwelligen Ende beträchtlich verkürzte Spektrum weist im allgemeinen nur die Farben Rot und Grün auf, die gegen die neutrale Zone hin allmählich in Farblosigkeit übergehen.

Zur Aichung dieses Systems verwendet man ein Rot von 650 bis 670 $\mu\mu$ und ein Blaugrün von etwa 490 $\mu\mu$. Die resultierenden Kurven (Taf. I u. II) zeigen den Typus der zwei Warmwertkurven, ihr Schnittpunkt gibt die neutrale Region an. Bezeichnend für das System ist das Fehlen der K-Kurve. Das farbige Band des Spektrums hört infolgedessen zwischen 440 und 470 $\mu\mu$ auf (soweit erscheint dasselbe verkürzt) und die kurzwellige Endstrecke reicht noch bis etwa 490 $\mu\mu$ herein.

B. Normales trichromatisches Farbensystem.

Für den normalen Menschen erweist es sich (innerhalb eines gewissen Bereiches) als undurchführbar, alle überhaupt möglichen Farbenempfindungen durch Mischung zweier, aus den äußeren Teilen des Spektrums entnommenen Lichter zu erzeugen. Aus Rot und Blau kann niemals ein Gemisch hergestellt werden, das für ein normales Auge grün aussieht, auch nicht Gelb, Orange oder Blaugrün, sondern die Mischung sieht für den Normalen immer rot, blau, violett oder purpur aus. Dazu bedarf es vielmehr noch einer dritten Farbe aus der Mitte des Spektrums.

[1]) v. Kries, Farbensysteme, S. 252.

Aichung desselben.

Quantitative Analysen trichromatischer Systeme sind bisher nur von Maxwell und Donders und insbesondere mit aller erdenklichen Genauigkeit und systematisch über das ganze Spektrum ausgedehnt, von König ausgeführt worden. Die Auffindung geeigneter Farbengleichungen war sehr schwierig und gelang erst nach mühevollen Versuchen unter Zuhilfenahme komplizierter Berechnungen. Die Untersuchungen, die seither nicht wiederholt worden sind, führten zu dem interessanten Ergebnisse, daß die von König für sich selbst und seinen Mitarbeiter Dieterici ermittelten individuellen Kurven mit jenen bei der Aichung dichromatischer Systeme gewonnenen Typen so genau übereinstimmten, daß sie nicht getrennt gezeichnet werden konnten. Damit war der experimentelle Nachweis erbracht, daß die bei der quantitativen Bestimmung dichromatischer Systeme erhaltenen Aichwertkurven immer mit je zweien der Normalen identisch sind und daß sie in ihrer Dreizahl das normale trichromatische System repräsentieren. Die Farben, beziehungsweise die Wellenlängen der drei Aichlichter bestimmte König für die Wd-Kurve als ein Rot, welches von der langwelligen Endstrecke im Spektrum etwas nach dem Purpur abweicht; für die Wp-Kurve als ein Grün von etwa **505** $\mu\mu$ und für die K-Kurve als ein Blau von etwa **470** $\mu\mu$.

Spektrum des Normalen.

Für das trichromatische Spektrum eines Normalen ergab sich dabei folgende Gliederung. An die beiden Endstrecken, in denen sich die Farbe nur der Intensität, aber nicht dem Tone nach ändert, schließt sich nach der Mitte des Spektrums hin je eine Region, in der jeder Farbenton durch Mischung der an ihrer inneren Grenze gelegenen Spektralfarbe mit Licht der anstoßenden Endstrecke erzeugt werden kann; es sind dies gewissermaßen dichromatische Bezirke, die König Zwischenstrecken nennt. Das in diesen Bereichen hinzutretende dritte Licht muß von den Endlichtern verschieden sein, da man keine Nuance der Zwischenstrecken aus Lichtern der beiden Endstrecken mischen kann; es muß aber anderseits für beide Endstrecken dasselbe sein, weil wir sonst ein Farbensystem von vierfacher Mannigfaltigkeit hätten, welches außer der Bestimmung einer Farbe nach Ton, Intensität und Sättigung noch eine vierte Charakterisierung ermöglichen würde, was mit der Erfahrung in Widerspruch steht. Man findet dieses Licht ohne weiteres im Grün, da man mit Rot und Grün alle Reizarten der ersten Zwischenstrecke, mit Grün und Blau alle Farbenempfindungen der zweiten Zwischenstrecke auslösen kann. In dem von beiden Zwischenstrecken umschlossenen medialen Teile

des Spektrums, den König (trichromatische) Mittelstrecke nennt, bedarf es aller drei Lichter, um sämtliche hier möglichen Farbenempfindungen hervorzurufen. Die beiläufige Ausdehnung der einzelnen Strecken ist aus Fig. 2 S. 15 zu entnehmen.

Beziehungen des dichromatischen zum normalen trichromatischen System.

Bei Beurteilung der Gliederung des normalen Sehorganes sind wir indessen keineswegs auf diese spärlichen Analysen angewiesen, sondern eine nähere Betrachtung der Beziehungen der dichromatischen Systeme zum normalen trichromatischen Farbensystem führt uns zu ebenso zwingenden Schlüssen.

Der allen Farbensinntheorien gemeinsame Grundgedanke geht dahin, daß sich der Sehapparat aus einer beschränkten Zahl von Bestandteilen zusammensetze, durch deren verschiedene Betätigung die Mannigfaltigkeit unserer Gesichtsempfindungen in bezug auf Helligkeit und Farbe bestimmt wird. Die einfachste Beziehung zwischen normalen und beschränkteren Farbensystemen ist dann durch die Annahme gegeben, daß man sich die partielle Farbenblindheit aus dem normalen Farbensystem durch den Ausfall eines gewissen Bestandteiles entstanden denkt[1]). Die theoretische Bedeutung einer solchen Annahme liegt darin, daß sich aus den Beziehungen der beiden Systeme dann gleich eine gewisse Charakterisierung des fehlenden Bestandteiles ableiten läßt. Wenn sich der Dichromat vom Farbentüchtigen nur durch den Mangel einer Komponente unterscheidet, so werden diejenigen Lichter und Lichtgemische, die der Farbentüchtige gleich sieht, durchwegs auch dem Dichromaten gleich erscheinen müssen; außerdem alle diejenigen Lichter, die sich für den Farbentüchtigen nur durch ihre Wirkung auf jenen dem Dichromaten fehlenden Bestandteil unterscheiden. Ein derartiges Verhältnis ist von besonderer physiologischer Bedeutung, und v. Kries hat dafür eine kurze Bezeichnung eingeführt, indem er ein Farbensystem eine Reduktionsform eines anderen nennt, wenn es lediglich gewisser Unterscheidungen ermangelt, die dem vollwertigen eigen sind, ohne dabei aber andere zu besitzen, die diesem abgehen. Die Farbenunterscheidung des einen stellt sich gegenüber der des anderen lediglich als ein Minus, eine Einbuße, nicht aber als eine Änderung dar[2]).

Der Widerspruch, der darin zu liegen scheint, daß ein partiell Farbenblinder gleichsam derselben Unterscheidungen fähig sein solle, wie ein Farbentüchtiger, fällt sofort weg, wenn man bedenkt, daß es sich hier nur um Farbengleichungen handelt. Je differenzierter der physiologische Aufbau eines Sehorganes, umso zahl-

[1]) v. Kries, Farbensysteme, S. 244.

[2]) v. Kries, Gesichtsempfindungen, S. 159.

reicher seine Unterscheidungsmöglichkeiten, umso seltener die Gleichheitsbedingungen. Je einfacher die periphere Gliederung des Organes, umso beschränkter die Differenzierungen und umso zahlreicher die Gleichheitsmöglichkeiten.

Das normale Sehorgan hat das feinste Auflösungsvermögen für Farbenunterschiede und weist demgemäß auch die geringste Zahl von Gleichungen auf. Der partiell Farbenblinde differenziert schon viel weniger und die Gleichheitsbedingungen sind infolgedessen weitaus häufiger gegeben. Der total Farbenblinde endlich erhält Gleichungen zwischen allen Lichtern, wenn nur deren Intensität entsprechend reguliert wird.

Die Gleichungen der Normalen werden von den Dichromaten anerkannt.

In der Tat sind nun diese entscheidenden Grundsätze schon vor vielen Jahrzehnten (bereits in den Vierzigerjahren des vorigen Säkulums von Seebeck) aufgestellt und von zahlreichen Autoren zunächst an rotierenden Scheiben (Maxwell), dann aber auch für Spektralfarben (Donders, König und v. Kries) bestätigt worden.

Die Frage hat ihre besondere Bedeutung für den langwelligen Teil des Spektrums bis etwa zur Wellenlänge von **550** $\mu\mu$ herab, da sich die dichromatischen Systeme in diesem Bereiche am schärfsten unterscheiden und anderseits die physikalische Absorption sich hier noch relativ wenig bemerkbar macht.

v. Kries[1]) prüfte deshalb in Parallelversuchen an einem Normalen und je einem Dichromaten des einen und des anderen Typus, ob für die Vergleichung von Mischungen aus Rot (**670** $\mu\mu$) und Gelbgrün (**550** $\mu\mu$) mit zwischenliegenden homogenen Lichtern der Satz Giltigkeit habe, daß eine für den Trichromaten zutreffende Mischungsgleichung von beiden Dichromaten als richtig anerkannt wird, und ob umgekehrt zwei Lichter, welche für den Farbentüchtigen den gleichen Reiz darstellen, sowohl für das Sehorgan des Protanopen als jenes des Deuteranopen von gleichem Reizwerte sind.

Für den Dichromaten liegen beide Lichter in der Endstrecke, und er erhält demgemäß bei jedem beliebigen Mischungsverhältnisse Gleichung durch einfache Regulierung der Helligkeit des dazwischenliegenden homogenen Lichtes. Die Intensität, welche dem einfachen Lichte zu diesem Zweck gegeben werden muß, scheidet beide Gruppen scharf voneinander, indem sich dabei in schon bekannter Weise für den Rotblinden ein relatives Übergewicht des kurzwelligen, für den Grünblinden ein solches des langwelligen Lichtes ergibt. Eine Mischung, in der für den Farbentüchtigen z. B. das Rot überwiegt, wird dem Protanopen (infolge des für ihn geringen Reizwertes des roten Lichtes) im Verhältnis zu dem einfachen

[1]) Farbensysteme, S. 275. Über die dichromatischen Farbensysteme, Centralblatt für Physiologie, 1886, S. 148.

Reizlichte zu dunkel; eine solche, in der für den Normalen das Grün vorherrscht, zu hell erscheinen. Der Farbentüchtige dagegen kann nur bei jenem ganz bestimmten Mischungsverhältnisse Gleichung erhalten, bei dem homogenes Licht und Mischung gleichfarbig erscheinen. Lassen wir nun die von einem Deuteranopen eingestellten Gleichungen von einem Protanopen betrachten, so werden diesem die Mischungen im Verhältnis zum Reizlichte im allgemeinen zu dunkel, zu hell oder gleich erscheinen. Diese drei Werte können wir leicht ermitteln, indem wir für ein bestimmtes homogenes Licht die Verhältnisse der Mischung sukzessive verändern. Dabei zeigt sich nun, daß nur ein ganz bestimmtes Mischungsverhältnis unter den verschiedenen Gleichungen des Grünblinden auch vom Rotblinden als zutreffend anerkannt wird, und wenn man diesen Quotienten mit jenem des Normalen vergleicht, so findet man, daß beide genau übereinstimmen und beiläufig in der Mitte zwischen den ermittelten Helligkeitsgrenzen liegen. Es ergibt sich also mit überraschender Genauigkeit, daß bei demjenigen Mischungsverhältnisse von Rot und Gelbgrün, das für den Trichromaten gleichen Farbenton mit dem zwischenliegenden einfachen Lichte aufweist, auch die Einstellungen beider Farbenblinden übereinstimmen; und sucht man anderseits nach einer für beide Dichromaten giltigen Gleichung, so gelangt man zu der für den Farbentüchtigen zutreffenden. Noch schärfer läßt sich die Giltigkeit dieser Sätze in rechnerischer Weise ableiten und zeigen, daß die berechneten Reizwerte der genannten Lichter mit den experimentell ermittelten so übereinstimmen, daß sich ihre Kurven nahezu vollständig decken.

Daß ähnliche Beziehungen auch für die brechbarere Spektralhälfte bestehen, war bei dem gleichen Verlaufe der Blaukurven von vornherein wahrscheinlich; aber die genaue Prüfung ist durch die stark hervortretenden individuellen Verschiedenheiten infolge von Absorption im makularen Pigment (Sachs)[1]) wesentlich erschwert. Doch ergab sich auch hier bei Betrachtung von Gleichungen zwischen homogenem Blaugrün und einer Mischung aus Grün und Blau, daß die Einstellungen für den Farbentüchtigen und beide Gruppen von Dichromaten in ganz ähnlichen Grenzen schwanken, so daß auch für dieses Spektralgebiet die Mischungsgleichungen aller drei Systeme übereinstimmen.

Damit ist experimentell und rechnerisch erwiesen, daß die Lichterpaare, welche dem normalen Trichromaten an Helligkeit und Farbe gleich erscheinen, stets auch für beide dichromatischen Sehorgane gleichen Reizwert besitzen und daß die

[1]) Über die spezifische Lichtabsorption des gelben Flecks der Netzhaut, Arch. f. d. ges. Physiol. 50, 1891, S. 574.

beiden dichromatischen Systeme in der Tat Reduktionsformen des normalen Systems im obigen Sinne vorstellen. Das normale Sehorgan dagegen vereinigt in sich zwei Gleichheitsbedingungen, von denen je eine dem Sehorgane des einen und des anderen Dichromaten zukommt.

Gliederung des normalen Systems.

Während es also auf große Schwierigkeiten stößt, die für ein normales trichromatisches System geltenden Gleichungen in der Form einer Aichung durch direkte Beobachtung systematisch zu ermitteln, können wir durch Erforschung der genaueren Beziehungen des normalen zu den Zweifarbensystemen auf einem Umwege leicht zu einer solchen Darstellung gelangen. Wir dürfen annehmen, daß zwei Lichter dem normalen Auge im allgemeinen dann gleich erscheinen, wenn sie für beide Dichromaten übereinstimmen, d. h. wenn ihre *Wp*-, *Wd*- und *K*-Werte gleich sind. Diese Werte lassen sich technisch leicht feststellen und sind bei zahlreichen Personen für eine genügende Anzahl einfacher Lichter ermittelt, so daß wir in ihrer kurvenmäßigen Darstellung ohne weiteres die drei Aichwertkurven des normalen Systems erblicken können[1]).

Aichung der erworbenen Rotgrünblindheit.

Interessante Beiträge zu dieser Gliederung des Sehorgans liefert ferner die Aichung der erworbenen Farbensinnstörungen. Auch die erworbene (progressive) Rotgrünblindheit erweist sich als eine Reduktionsform des normalen Systems und zeigt eine ganz ähnliche Kurvenkombination, wie die angeborenen Formen. Eine Unterscheidung von zwei Typen war bisher nicht möglich, indem die langwellige Aichwertkurve in allen Fällen eine gute Übereinstimmung mit jener der Deuteranopen aufwies, sich aber deutlich von jener der Protanopen unterschied. Der Gipfel der Kurve bei erworbenen Formen wird von Köllner[2]) zwischen **590** und **610** $\mu\mu$ angegeben, während derselbe bei angeborener Deuteranopie bei etwa **600** $\mu\mu$ gefunden wird, welche Zahl gleichsam als Mittelwert der für die erworbenen Formen gewonnenen Grenzen eine gute Übereinstimmung gibt. Die Kurve des blauen Aichlichtes zeigt auch hier die typische, durch alle Systeme gleiche Gestalt.

Besonders vielversprechend erschien aus theoretischen Gründen die Aichung während des noch trichromatischen (quasi anomalen) Stadiums der progressiven Rotgrünblindheit, weil man hoffen konnte,

[1]) v. Kries, Gesichtsempfindungen, S. 161.
[2]) Die Störungen des Farbensinnes, S. 154.

dadurch Aufschluß zu erhalten, auf welche Art die zwei Warmwertkurven des normalen Farbensinnes bei dem Übergange ins dichromatische Stadium zu einer einzigen reduziert werden; doch stößt die Aichung erworbener trichromatischer Systeme wegen der Unterempfindlichkeit gegen Helligkeitsunterschiede auf noch größere Schwierigkeiten, als es schon für die angeborenen Formen hervorgehoben wurde.

Aussichtsreicher erschienen jene Fälle, bei denen Sehnervenerkrankungen zu einer Tritanopie (angeboren oder erworben) hinzutreten, oder bei welchen ein Sehnervenleiden (z. B. Neuritis) gleichzeitig erworbene Tritanopie (durch Netzhautödem) und Rotgrünblindheit veranlaßt. Die Tritanopie weist einerseits die gleichen Warmwertkurven auf, wie der normale Farbensinn, und ist anderseits (als dichromatisches System) mit zwei Lichtern leicht zu aichen; man konnte demnach erwarten, daß es hier gelingen werde, die Veränderungen, welche das Farbensystem durch die erworbene Rotgrünblindheit erleidet, quantitativ zu verfolgen. Diese Untersuchungen haben nun ergeben, daß die beiden Warmwertkurven mit zunehmender Funktionsstörung tatsächlich immer näher aneinanderrücken, die mittleren, sich kreuzenden Schenkel verlaufen immer steiler, die beiden Endstrecken nehmen auf Kosten der Mittelstrecke beständig zu, bis schließlich die vollkommene Verschmelzung beider Warmwertkurven zu einer einzigen erfolgt[1]). Wir dürfen wohl den gleichen Vorgang auch für die Umwandlung des normalen Farbensinnes in das dichromatische Stadium der Rotgrünblindheit annehmen und bei zahlreicheren Untersuchungen gewärtigen, daß die durch Konfluenz entstandene Warmwertkurve auch einmal die Gestalt der W_p-Kurve aufweise und die progressive Rotgrünblindheit demgemäß in der Form von Protanopie in Erscheinung trete.

Auch die quantitative Analyse der erworbenen totalen Farbenblindheit gewährt so manchen lehrreichen Einblick.

Aichung der angeborenen totalen Farbenblindheit.

Der angeborene total Farbenblinde sieht im Spektrum nur Intensitäts-, aber keine Farbenunterschiede; im Spektralapparate erhält er zwischen zwei beliebigen homogenen Lichtern durch einfache Regulierung der Helligkeit eine vollkommene Gleichung; die Gesichtsempfindungen sind nur in einem Sinne variabel. Dabei ist die Helligkeitsverteilung eine ganz andere als im normalen Sehorgan; während das Maximum der Helligkeit für den Normalsehenden (im Tagessehen) in der Gegend des Gelb liegt (bei etwa 690 $\mu\mu$, findet man bei der totalen Farbenblindheit den Kurvengipfel beträchtlich

[1]) Köllner, l. c., S. 158, wo diese Verschmelzung auch graphisch dargestellt erscheint.

gegen das kurzwellige Ende hin verschoben, im Grün, bei etwa 530 $\mu\mu$. (Taf. III u. IV.) Das Spektrum erscheint daher dem total Farbenblinden als ein farbloses oder, wie andere wollen, leicht bläuliches Band mit der hellsten Stelle im Grün des Normalen; die Empfindlichkeit gegen langwellige Strahlen ist herabgesetzt, das Spektrum an diesem Ende verkürzt. Der total Farbenblinde sieht genau so, wie der Normale unter den Bedingungen des Dämmerungssehens. Wie man sieht, weist die Kurve des mono- oder achromatischen Systems keinerlei Ähnlichkeit mit einer der drei typischen Aichwertkurven auf, und die totale Farbenblindheit kann deshalb auch nicht als Reduktionsform des normalen oder eines dichromatischen Systems gedeutet werden, sondern sie steht dem farbentüchtigen Hellapparate vollständig beziehungslos gegenüber.

Aichung der erworbenen totalen Farbenblindheit.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei der erworbenen totalen Farbenblindheit. Hier findet man das Intensitätsmaximum im Orange bis Gelbgrün des Normalen (etwa **600** bis **570** $\mu\mu$), im wesentlichen also im Bereiche des normalen Sehorganes.

Es mußte nun ganz besonders interessieren, wie sich die Helligkeitsverteilung in jenen Fällen gestaltet, wo die totale Farbenblindheit aus einem dichromatischen System entsteht. Es liegen hier zwei Beobachtungen vor, eine von König (bei Protanopie) und eine von Köllner (bei Deuteranopie); beidemal war durch eine Netzhauterkrankung (Ödem und Abhebung) Tritanopie hinzugetreten und so an umschriebener Stelle des Gesichtsfeldes totale Farbenblindheit entstanden. Die Helligkeitsverteilung im erkrankten Bereiche entsprach nun in beiden Fällen vollkommen den theoretischen Voraussetzungen; bei dem Protanopen stimmte sie mit der *Wp*-Kurve überein, bei dem Deuteranopen mit der *Wd*-Kurve. Die Helligkeitsverteilung war also die gleiche geblieben, wie sie vor der Erkrankung war, was in ganz analoger Weise auch für die totale Farbenblindheit des vorher gesunden Auges gilt[1]).

Kurz zusammengefaßt haben wir also das normale trichromatische System, dargestellt durch die drei bestimmten Aichwertkurven; ferner zwei typisch verschiedene, aus dem ersteren als Reduktionsformen abzuleitende dichromatische Systeme, repräsentiert durch Kombinationen von je zwei der genannten Kurventypen; daneben und ohne erkennbare Beziehung zu jenen das monochromatische System der angeborenen totalen Farbenblindheit, welches identisch ist mit demjenigen, welches Dichromaten und Trichromaten beim

[1]) Köllner, l. c., S. 197.

Dämmerungssehen zeigen; und wieder engere Beziehungen zu dem trichromatischen Systeme bei jenen Formen von erworbener totaler Farbenblindheit, die aus einem zweifarbigen System entstanden sind.

C. Anomale trichromatische Systeme.

Das eben geschilderte trichromatische System ist das weitaus häufigste und kommt fast allen Frauen und 85 bis 90% der Männer zu; auch die Farbenbezeichnungen und -unterscheidungen der Sprachen aller Völker sind den Empfindungen angepaßt, welche bei diesem System entstehen.

Der englische Physiker Lord Rayleigh[1]) hat zuerst nachgewiesen, daß auch die trichromatischen Systeme untereinander beträchtlich verschieden und in mehrere Gruppen zu teilen sind.

Rayleighs Experimente.

Als er 1881 Farbengleichungen zwischen homogenem Gelb und einem Gemisch aus spektralem Rot und Grün (die ebenfalls Gelb geben) betrachten ließ, fand er „eine interessante, von Farbenblindheit durchaus verschiedene Eigentümlichkeit des Farbensehens". Das Rotgrüngemisch, das für ihn selbst und die meisten Beobachter mit dem gelben Vergleichslichte vollkommen übereinstimmte, erschien seinen drei Schwägern (den Brüdern Balfour), bei welchen Farbenblindheit notorisch nicht bestand, von dem Gelb durchaus verschieden, und zwar unzweideutig rot: „beinahe so rot, wie rotes Siegelwachs". Wurde nun die Menge des roten Lichtes soweit vermindert, daß ihnen das homogene und das gemischte Licht den gleichen Farbeneindruck hervorriefen, so war die Mischung für ein normales Auge zu grün. Von 23 Untersuchten zeigten 5 eine Abweichung in diesem Sinne.

Von dieser Hauptgruppe sonderten sich zwei Beobachter in einer gerade entgegengesetzten Richtung ab, indem sie für ihre Gleichung mehr Rot als die Mehrzahl verwendeten: „anderseits verlangte Mr. H. mehr Rot als ich, um ein gegebenes Grün in Gelb zu verwandeln (und zwar etwa im Verhältnis von **2·6 : 1**".

Lord Rayleigh kam zu dem Resultate, daß man zunächst zwei Kategorien von normalem Farbensinne zu unterscheiden habe: die eine, der die weitaus größte Zahl von Menschen angehört, und eine zweite, die nur einen geringen Prozentsatz von Personen umfaßt. Er glaubte dies um so mehr annehmen zu dürfen, als er bei keinem der Untersuchten eine Schwäche des Farbensinnes annehmen konnte, wie er durch Prüfung mit den Maxwellschen

[1]) Nature, Vol. XXV. Experiments on colour, pag. 64 ff, 1881.

Scheiben feststellte. Von den Fällen mit herabgesetzter Rotempfindung sah er zunächst ab, da die Abweichung nur bei einem der zwei Beobachter in ausgesprochener Weise zu ermitteln war.

Untersuchungen von Donders.

Donders[1]) hat diese Untersuchungen im Jahre 1884 wiederholt; er verwendete dabei Licht von bestimmter Wellenlänge, und zwar Lithiumrot (**670** $\mu\mu$) und Thalliumgrün (**535** $\mu\mu$), deren Mischung ein dem homogenen Natriumgelb (**589** $\mu\mu$) sehr ähnliches Gelb ergab. Unter 60 Personen fand er vier, welche das binäre Gemisch deutlich grün einstellten. Während das Verhältnis von Li : Tl bei ihm selbst **2·34**, bei dem Physiologen Engelmann **2·89** (im Mittel somit **2·65**) betrug, ergab sich für die vier abweichenden Fälle im Durchschnitte nur ein Quotient von **0·82**. Ferner fand Donders bei allen vier Untersuchten (im Gegensatze zu Lord Rayleigh) herabgesetzten Farbensinn, wie dies bei Prüfung mit den Stillingschen Tafeln sofort zutage trat. Donders vermutete infolgedessen, daß im allgemeinen die Fälle, für welche die gefundene Proportion galt, herabgesetzten Farbensinn besitzen dürften, und die Untersuchung einiger Personen, deren schwacher Farbensinn ihm schon von früher her bekannt war, mit der Rayleigh-Gleichung ergab tatsächlich gleich niedrige Quotienten. Er fand aber auch gleich einige Fälle von unvollkommenem Farbensinn, bei welchen das Verhältnis von Li zu Tl mit dem des normalen Auges übereinstimmte, und umgekehrt einen Fall, wo bei einem Quotienten von **0·72** der Farbensinn so gut wie normal war. Donders[2]) fügt bei: „Für die drei Gebrüder B., die Lord Rayleigh untersuchte, möchte dasselbe der Fall gewesen sein; übrigens wird ein schwacher Farbensinn, wovon der Betreffende fast nie eine Ahnung hat, gewiß in vielen Fällen übersehen." Die Erklärung für diese abweichende Art des Farbensehens sucht Donders in einer relativ geringen Entwicklung der grünen Valenz im Tl, verglichen mit der roten im Li; von dem Verhältnis der Valenzen hänge es dann ab, welche Mengen Tl und Li einander neutralisieren.

Königs Arbeiten.

Ganz außerordentlich gefördert wurde die ganze Frage durch die Arbeiten Königs, der mit seiner hochentwickelten Untersuchungstechnik auch diese Formen dem Verständnisse näher brachte[3]).

[1]) Farbengleichungen, Arch. für Physiologie 1884, S. 518.

[2]) l. c., S. 523.

[3]) Gesammelte Abhandlungen, XIV und XV. Die Grundempfindungen und ihre Intensitäts-Verteilung im Spektrum. Über die neuere Entwicklung von Thomas Youngs Farbentheorie.

Er fand unter etwa 70 mit der Rayleigh-Gleichung Untersuchten drei, welche für das Zweifarbengemisch eine beträchtliche Vermehrung des Grünanteils erforderten. Während das Verhältnis von Rot zu Grün bei der großen Gruppe der Normalen im Mittel **1·518** betrug, war es bei den zwei Beobachtern der zweiten Kategorie im Durchschnitte nur **0·413**, eine Relation, die ungefähr mit den Dondersschen Zahlen übereinstimmte.

König war auch der erste und bisher einzige, der dieses abweichende System durch das ganze Spektrum hindurch quantitativ bestimmte. Die Anordnung der Farbenmischungen, sowie die Methode der Berechnung war dem Prinzipe nach dieselbe, wie bei dem normalen System; nur zeigte sich, daß hier störende Sättigungsunterschiede viel seltener auftreten und man daher die Komponenten der einzelnen Beobachtungssätze im Spektrum viel weiter auseinanderlegen konnte, ohne die Genauigkeit der Beobachtung wesentlich zu beeinträchtigen.

Die Grenzen der einzelnen, oben charakterisierten Strecken waren von denjenigen normaler Systeme nicht nachweisbar verschieden. Die Betrachtung der erhaltenen Kurven zeigte, daß die Rot- und Violettkurve der zweiten Gruppe keine gegen die Norm irgendwie nennenswerte Abweichung erkennen ließen, wohl aber war die Grünkurve von der normalen Form wesentlich verschieden. Ihr Maximum zeigte sich beträchtlich nach dem langwelligen Ende hin verschoben; ihre Gestalt war der Rotkurve ähnlicher geworden und bildete gleichsam eine Übergangsform zwischen den normalen Rot- und Grünkurven. (Siehe Tafeln III und IV.)

Es ergab sich somit auch für diese zweite Kategorie eine dreifache Gliederung; zwei Kurven stimmten mit dem normalen System überein, während die dritte beträchtliche Abweichungen zeigte. Die von beiden Gruppen hergestellten Farbengleichungen wurden gegenseitig nicht anerkannt. König hielt es für gerechtfertigt, diese ganz bestimmten Eigentümlichkeiten der zweiten Gruppe durch eine sie charakterisierende Bezeichnung zum Ausdrucke zu bringen, und schlug vor, das Farbensystem der weitaus zahlreichsten ersten Gruppe als ein normal-trichromatisches zu bezeichnen, während auf die zweite Gruppe, solange sie die einzige außerdem scharf begrenzte ist, der Name anomal-trichromatisches System angewendet werden möge. „Finden sich später mehrere derartige, von der großen Mehrzahl abweichende Gruppen, so ist natürlich eine andere Bezeichnung zu wählen.“ Wir werden bald sehen, daß dieses Bedürfnis auch nach der Auffindung neuer Formen nicht eintrat, da sich die Königsche Benennung als außerordentlich glücklich gewählt und anpassungsfähig erwies.

Die Entstehung des anomalen trichromatischen Systems aus dem normalen können wir uns nach König durch die Annahme erklären, daß die Qualität der Grünempfindung, die wir uns an die Tätigkeit der zweiten Komponente geknüpft denken, beibehalten, die Gestalt ihrer Intensitätskurve aber derjenigen von Rot ähnlicher geworden sei. Ist sie dann soweit verändert, daß sie ganz mit derjenigen von Rot zusammenfällt, so sind im Spektrum nur mehr zwei Farbentöne vorhanden und wir haben ein dichromatisches System vor uns. Man kann so die von König untersuchte Gruppe anomaler trichromatischer Formen als Verbindungsglied zwischen dem normalen trichromatischen und dem dichromatischen (speziell deuteranopischen) System betrachten.

Die praktische Bedeutung dieser Anomalie zu erforschen, lag König mehr weniger ferne, und die geringe Zahl der beobachteten Fälle war wohl auch kaum geeignet dazu. So äußert er sich auch über die Frage der Farbenschwäche nicht näher, wendet sich aber gegen den Terminus überhaupt, da er ihn fast ebenso ungenau findet, wie den Ausdruck Farbenblindheit.

v. Kriessche Beobachtungen.

Weiter hat dann v. Kries[1]) 1897 zwei Beobachtungsreihen publiziert, in denen der Quotient der verlangten Grün- zu Rotmengen bei dem normalen Systeme zwischen 1 und 1·9 schwankte, während er bei den zwei Anomalen 3·8 und 5·8 betrug. Der eine dieser Anomalen (Lotze)[2]) hat dann 1898 sein abweichendes Farbensystem in einer Dissertation aus dem v. Kriesschen Institute genau beschrieben und hielt seinen Farbensinn im übrigen für normal, da er seine Beobachtungen mit derselben Sicherheit machte und die gleichen mittleren Abweichungen aufwies, wie die normale Kontrollperson; er gibt aber an, daß er bei der Entzifferung von Stillings Tafeln beträchtliche Schwierigkeiten hatte.

Zweiter Typus des anomalen Systems.

So kannte man bisher nur einen Typus anomaler trichromatischer Systeme genauer; die Feststellung Rayleighs, daß es auch Fälle gebe, die für das binäre Gemisch eine Vermehrung des Rotanteiles erforderten, war aus Mangel ähnlicher Beobachtungen nicht weiter verfolgt worden, oder man hatte diese Formen einfach zu den Protanopen gerechnet. Erst v. Kries fand wieder einen solchen Fall, und er ist auch der erste dieser Art, der in seinem Institute in systematischer

[1]) Farbensysteme, S. 287. Über anomal trichromatische Farbensysteme, Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie, Bd. XIX, 1899.

[2]) Untersuchungen eines anomalen trichromatischen Farbensystems, 1898.

Weise durchuntersucht und von dem Träger des Systems (Levy)[1] in einer Dissertation veröffentlicht wurde.

Levy war es aufgefallen, daß er rotgefärbte Tuberkelbazillen in der entfärbten Umgebung entweder gar nicht oder nur nach besonderem Hinweis als schwarze Stäbchen zu erkennen, abblassende Roseolen nicht wahrzunehmen vermochte. In der von ihm eingestellten Rayleigh-Gleichung machte das Rotgrüngemisch auf den Normalen den Eindruck eines fast reinen Rot, welches viel heller erschien, als das Gelb; der ganz geringe dem Rot gegebene Grünzusatz wurde vom Normalen kaum bemerkt; die zur Gleichung erforderliche Rotmenge betrug je nach der Wellenlänge des Vergleichslichtes das 3·4- bis 5fache des Normalen. Die Einstellung des Normalen erschien ihm selbst gegenüber dem Vergleichslichte deutlich grün.

Die Kurve der Peripheriewerte (in dem Gebiete von 660 bis 530 $\mu\mu$), die wiedergegeben wird, zeigt eine auffallende Ähnlichkeit mit der gleichen Kurve der Protanopen[2]). Ihr Gipfel erscheint gegen die Norm ebenfalls nach der brechbareren Seite des Spektrums verschoben und ihr Verlauf läßt deutlich erkennen, daß der Reizwert langwelliger Lichter für diese Gruppe der Anomalen ein relativ geringerer ist, als für Normale und Anomale der ersten Form.

Levy kommt daher zu dem Resultate, daß sein anomales Sehen eine gewisse Ähnlichkeit mit dem protanopischen biete und auf einer abweichenden Beschaffenheit seiner Rotkomponente beruhe; es werde anzunehmen sein, daß sie in bezug auf ihre Erregbarkeitsverhältnisse sich von der Grünkomponente weit weniger unterscheide, als von der Rotkomponente. In unserer graphischen Darstellung sind die für dieses System angenommenen Kurven schematisch eingezeichnet. (Siehe Tafeln III und IV.)

Über die Frage gleichzeitiger Farbenschwäche äußert sich Levy dahin, daß er die Wollprobe ebenso wie Lotze bestand, nach Stilling aber partiell farbenblind erschien. In der Unterscheidung roter oder orangegelber Pigmente stand er gegen Farbentüchtige entschieden zurück; bei gleicher Objektgröße bedurfte er zur Differenzierung einer größeren Intensität und umgekehrt. Dagegen zeigte die Unterschieds-

[1]) Über einen zweiten Typus des anomalen trichromatischen Farbensystems, 1903, Freiburg, Speyer & Kaerner.

[2]) Die Helligkeitswerte der verschiedenen Lichter in der äußersten, total farbenblinden, helladaptierten Peripherie des Gesichtsfeldes (von v. Kries als Peripheriewerte bezeichnet) sind für das protanopische Sehorgan durchaus andere, als für das normale und deuteranopische. Auch in dieser Zone zeigt sich die Unterempfindlichkeit des Protanopen für langwellige Lichter in ganz charakteristischer Weise: einmal durch die niedrigen Aichwerte derselben und dann durch die Verschiebung der ganzen Helligkeitskurve nach der kurzwelligen Seite hin.

empfindlichkeit bei der Einstellung von Mischungsgleichungen gegen die Norm ebensowenig eine Abweichung, wie bei Lotze. Ein Bruder Levys zeigte die gleiche Anomalie.

Wenngleich also hier keine zahlenmäßige Feststellung der direkten Rotwerte vorliegt, so können wir nach der Analyse des Falles doch wohl auf eine analoge Veränderung der Rotkurve schließen, wie sie König bei der ersten Kategorie für die Grünkurve ermittelte: die Rotkurve ist in ihrer Gestalt der Grünkurve ähnlicher geworden und im ganzen näher an diese herangerückt; wir haben eine geringere Erregbarkeit für die Lichter des roten Endes mit einer entsprechenden Verkürzung des Spektrums. Die daraus resultierende Farbensinnstörung ist der Protanopie ähnlich, nur graduell nicht zu gleicher Höhe entwickelt; sie steht in ganz ähnlicher Weise zwischen normalem und protanopischem System, wie die erstbeschriebene häufigere Form die Mitte zwischen normalem Farbensinn und Deuteranopie einnimmt.

Nomenklatur des anomalen Systems.

Hier seien einige Worte zur Entwicklung der Nomenklatur dieser Formen eingeschaltet, um in dem Gebrauche der üblichen Termini nicht weiter behindert zu sein.

Lord Rayleigh und Donders, die immer nur Fälle von Untererregbarkeit für Grün im Auge hatten, sprachen kurzhin von einer zweiten Kategorie normaler Trichromaten. Donders gebraucht auch den Ausdruck „schwacher Farbensinn" und stellt diesen als abnorme Form der normalen gegenüber.

Die richtunggebende Bezeichnung von König wurde bereits hervorgehoben; sie blieb weiterhin die maßgebende.

Als dann durch den Fall Levy ein zweiter Typus dieses Systems festgestellt war und man nicht wissen konnte, ob nicht noch weitere nachkommen, sprach man von einer ersten und zweiten Form anomaler Systeme. Da aber die nahe Beziehung dieser zwei Gruppen anomaler Trichromaten zu den beiden Arten der Dichromaten unverkennbar war, hielt es v. Kries für kürzer und bezeichnender, die schon länger bekannte erste Form, deren Träger im binären Gemisch der Rayleigh-Gleichung mehr Grün einstellen, als grünanomal; die Träger der zweiten Form, die im gleichen Falle mehr Rot erfordern, als rotanomal zu bezeichnen. Als es endlich die erworbenen Farbensinnstörungen bei Netzhauterkrankungen wahrscheinlich machten, daß sich mit abnehmender Farbenempfindung zwischen normal-trichromatisches und tritanopisches System ein „violettanomales" einschieben könne, war es ein einfacher Analogieschluß, die drei anomalen Systeme

nach dem Vorschlage Nagels als protanomal, deuteranomal und tritanomal zu unterscheiden[1]).

Die Königsche Bezeichnung hatte sich also wider sein eigenes Erwarten auch für die weiteren Formen als ätiologisch kennzeichnend vortrefflich bewährt. Durch Vorsetzen der Ordnungszahl kann man die Anomalie (die abweichende Bildung, die Alteration) einer bestimmten Komponente des Sehorgans ebenso zweckmäßig charakterisieren, wie ihren Ausfall durch -anopie in der v. Kriesschen Bezeichnung der Dichromaten.

Lichtabsorption ist nicht Ursache der Anomalien.

Weiter wäre noch die viel ventilierte Frage kurz zu berühren, ob die genannten Anomalien des Farbensinnes nicht durch besonders starke und qualitativ verschiedene Makulapigmentierung oder stärkere Tingierung in den übrigen lichtabsorbierenden Medien des Auges (der Linse und dem Glaskörper) bedingt sein könnten.

Exzessive Makulatingierung als Ursache läßt sich schon dadurch ausschließen, daß die Differenzen in der Einstellung auch bei Betrachtung mit parazentralen Netzhautstellen in vollem Ausmaße bestehen bleiben. Die genannte Annahme kann aber auch durch einen einfachen Versuch widerlegt werden[2]). Man läßt von einem Normalen und einem Deuteranomalen Gleichungen zwischen einem Rotgrüngemisch und homogenen Lichtern im Gebiete von 670 bis 550 $\mu\mu$ einstellen. Beruhte die vermehrte Grünzumischung des Deuteranomalen auf einer relativ starken Absorption des grünen Lichtes, so müßte der anomale Beobachter bei all den genannten Gleichungen das Grün in demselben Ausmaße vermehren. Dies trifft jedoch keineswegs zu, sondern der Quotient der für den einen und den anderen Beobachter erforderlichen Mengen roten und grünen Lichtes zeigt den größten Wert für die langwelligen Lichter (er betrug bei 628 $\mu\mu$ 5·51), um mit abnehmender Wellenlänge ganz regelmäßig zu sinken (auf 2·12 bei 552 $\mu\mu$); und je kleiner der Quotient, umso größer der Grünanteil.

Noch beträchtlicher sind die Abweichungen bei dem Protanomalen Levy; sie ließen sich auch durch Vorschaltung eines grünen Glases in keiner Weise beeinflussen. Ebenso müßte sich eine derartige abnorm starke Pigmentierung bei anderen Farbenzusammenstellungen geltend machen, was aber nicht der Fall ist, da man bei Vergleichung von homogenem Blaugrün mit Mischungen aus Blau und Grün zwischen

[1]) Guttmann übersetzt *ἀνώμαλος* mit „ungesetzlich"; das Wort hat aber mit *νόμος* gar nichts zu tun, sondern ist einfach die Verneinung von *ὁμαλός*, gleich, eben, und bedeutet (außer „uneben") für unseren Zweck ganz zutreffend „unregelmäßig, von dem Gewöhnlichen abweichend". Gesetzwidrig heißt *ἄνομος*.

[2]) v. Kries, Über Farbensysteme. Siehe auch bei Lotze und Levy.

den Einstellungen des Normalen und des Anomalen keine deutliche Abweichung konstatieren kann. Der Unterschied des normalen vom anomalen Trichromaten kann somit nicht durch einen absorbierenden Farbstoff bedingt, sondern er muß ein physiologischer sein, d. h. „ein vom Licht affizierbarer Teil des Sehorgans muß von anderer Beschaffenheit sein und demgemäß die Stärke der auf ihn ausgeübten Lichtwirkung in anderer Weise als in der Norm von der Wellenlänge abhängen" [1]). Auch Helmholtz hatte sich zu dieser Frage bereits 1885 in der 2. Auflage seiner physiologischen Optik in ähnlichem Sinne geäußert.

Farbensehen der anomalen Trichromaten.

Eine genauere Betrachtung der betreffenden Aichwertkurven (auf den Tafeln III und IV) lehrt sofort, daß sich das abweichende Farbensehen der Anomalen beiläufig in dem gleichen Spektralgebiete bemerkbar machen werde, in dem sich die Farbenverwechslungen der Dichromaten abspielen, nur in graduell geringerem Ausmaße. Obwohl es sich nicht um den Fortfall, sondern um die Modifikation einer Komponente handelt, so tangiert die veränderte Beschaffenheit derselben die beiden anderen Bestandteile in einer Weise, daß wir Störungen in der ganzen langwelligen Spektralhälfte, i. e. in Rot, Gelb und Grün zu erwarten haben.

Am schärfsten charakterisiert erscheint in diesem Gebiete (unter normalen Verhältnissen) das Gelb, welches als schmaler, heller Streifen zwischen zwei entgegengesetzten Farben steht; man trifft hier eine der Stellen, welche die größte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbennuancen aufweisen (die zweite liegt bei F, im oder nahe dem einfachen Blau).

Lage des reinen Gelb.

Donders [2]) hat sowohl die Lage des reinen Gelb bei freier Einstellung, als die kleinsten merkbaren Abweichungen von Gelb und den daran grenzenden Farben bei normalem und abnormalem Farbensinn bestimmt.

Die Untersuchungen an Normalen erstreckten sich auf 111 Augen von 76 Personen. Er zeigte bei neutraler Stimmung das mittlere Gelb (ungefähr **581** $\mu\mu$), das von vielen als rein gelb, von anderen als grünlich oder rötlich bezeichnet wurde, und durch langsames Verschieben fanden alle die Grenzen, wo es dem Rot oder Grün einigermaßen ähnlich ward, und setzten dazwischen ihr Gelb ein. Als kleinste Wellenlänge fand er dabei **572** $\mu\mu$, als größte **594** $\mu\mu$, im Mittel **582** $\mu\mu$. Die kleinste Abweichung vom Mittelwerte betrug im allgemeinen **1·2** $\mu\mu$,

[1]) v. Kries, Die Gesichtsempfindungen, S. 126.

[2]) Farbengleichungen, S. 533.

für Donders selbst schwankte sie zwischen **0·2** und **0·9** $\mu\mu$. Fiel das einfache Gelb nicht mit Natrium zusammen, dann änderte sich zugleich die durch Tl und Li erregte Empfindung, wenn auch nicht der Farbe, so doch der Intensität nach sehr schnell. Es ergab sich also eine bestimmte Beziehung zwischen der Lage des Gelb und dem Verhältnis von Lithium zu Thallium; wo die erstere nicht mit Natrium zusammentraf, waren auch diese Relationen andere.

Da nun die Verschiebung der Warmwertkurven bei den Farbenanomalen gerade zwischen **603** und **571** $\mu\mu$ gegen die D- (Natrium-) Linie (**589** $\mu\mu$) hin stattfindet, ist es naheliegend, in dieser Region den Mittelpunkt der Erregbarkeitsveränderungen zu suchen. Die spärlichen, über diese Fragen vorliegenden Arbeiten stimmen damit gut überein.

Schon in den eben erwähnten Untersuchungen von Donders findet man treffende Belege dafür. Bei seinen Fällen zweiter Kategorie (i. e. den Deuteranomalen) schwankte das Urteil über Gelb in erheblich weiteren Grenzen, und die Empfindlichkeit für kleinste Unterschiede war gegen die Norm wesentlich herabgesetzt. Dagegen stand der Koeffizient von Li : Tl nicht in Beziehung zur Lage des Gelb.

Von den geprüften Personen suchten zwei ihr Gelb im Thallium, drei andere in der Nähe von D; die Abweichungen vom Mittelwerte waren größer als bei Normalen und die Einstellungen gingen auch an verschiedenen Tagen mehr auseinander. In einem Falle, der sein Gelb mit **590** $\mu\mu$ einstellte, betrug der kleinste merkbare Unterschied reichlich **1·3** $\mu\mu$, für Donders nur **0·51** $\mu\mu$. Ein zweiter Fall suchte das einfache Gelb an derselben Stelle, die kleinsten merkbaren Unterschiede stiegen jedoch auf **12·5** Skalenteile, während sie bei Donders für sein Gelb nur **4·8** betrugen. Von großem Einflusse zeigte sich dabei die Lichtstärke, und Verschiedenheiten der Intensität ohne Veränderung der Wellenlänge wurden viel eher als Farbenunterschiede aufgefaßt, als bei Normalen.

Oben (S. 13) wurde bereits mitgeteilt, daß das Intensitätsverhältnis von Tl : Li bei Normalen (**2·14**) und Deuteranopen (**2·75**) ziemlich übereinstimmt; Donders[1]) hat diese Relation auch für die Deuteranomalen ermittelt und mit **2·79** festgestellt; es besteht somit in dieser Beziehung zwischen dem normalen System und den Sehweisen der Deuteranopen und Deuteranomalen kaum ein Unterschied.

Ganz ähnlich steht es mit den Helligkeitsverhältnissen. „König hat schon die Aufmerksamkeit auf die Tatsache gelenkt, daß die Verteilung der Helligkeit im (farbig gesehenen) Spektrum, wenn auch nicht sehr genau (das schließen schon die großen individuellen Unter-

[1]) Farbengleichungen, S. 527.

schiede aus), doch annähernd mit den für die Rotkomponente sich berechnenden Reizwerten übereinstimmt. Das gleiche gilt, wie die betreffenden späteren Untersuchungen herausgestellt haben, für die Peripheriewerte. . . . Offenbar hängt es damit auch zusammen, daß die Verhältnisse für die Deuteranopen und Deuteranomalen nicht erheblich anders sind, als für den Normalen, obgleich die Erregbarkeitsverhältnisse ihrer Grünkomponente doch verschieden sind, während der Protanop und Protanomale, bei denen die Erregbarkeitsverhältnisse der Rotkomponente abweichen, sich auch in bezug auf Peripheriewerte usw. ganz anders als der Normale verhalten" [1]).

Nagels Untersuchungen an Anomalen.

Sehr wertvolle Untersuchungen über das Verhalten der Anomalen den Spektralfarben gegenüber verdanken wir Nagel[2]).

Das Licht der Natriumflamme erscheint den Deuteranomalen noch deutlich orange und das Gelb ohne Annäherung an Orange oder Grün liegt erst bei etwa **570** $\mu\mu$. Ja, zuweilen ist die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne in der Region von **580** bis **540** $\mu\mu$ derart reduziert, daß solche Personen Gleichungen zwischen den genannten Lichtern (die der Normale gelb und gelbgrün sieht) erhalten können, und sie nennen dann beide gelb oder weiß, gelegentlich auch grün.

Werden sowohl der Punkt des reinen Gelb als die Umschlagsstellen gegen rötlich und grünlich scharf angegeben, dann ist auch die Rayleigh-Gleichung leicht genau einzustellen. Schwankt die Unterschiedsempfindlichkeit in dieser Region aber in weiteren Grenzen, dann kann man viel mehr Grün zumischen, ohne daß die Gleichung gestört wird; ja bei gewissen extremen Formen kann man geradezu das reine Grün (**540** $\mu\mu$) neben das gelbe Vergleichslicht stellen, ohne daß Ungleichheit eintritt; es bedarf dazu meist nur einer Regulierung des Helligkeitsverhältnisses. Nagel hat Personen dieser Art „extrem Grünanomale" genannt. Sie stehen den Dichromaten schon ziemlich nahe, unterscheiden sich aber darin sehr wesentlich, daß es nicht möglich ist, von ihnen Gleichungen zwischen Rot und Gelb oder Purpur und Blaugrün zu erhalten.

Auch Donders[3]) hat bereits zwei solche Fälle beobachtet, für welche der Unterschied zwischen Tl und Na bei gleicher Lichtstärke sehr gering war, und bei denen man das Natrium auch in einem

[1]) v. Kries, in Helmholtz' Physiol. Optik, III. Aufl., 2. Bd. S. 359.

[2]) Untersuchungen zur Symptomatologie und Diagnostik der angeborenen Störungen des Farbensinnes, Zeitschrift für Sinnesphysiologie, Bd. 41, S. 239 und 319.

[3]) Farbengleichungen, S. 523.

größeren oder kleineren Teile durch Lithium ersetzen konnte, ohne daß die Gleichung darunter litt. Man hätte sie deshalb leicht für Dichromaten halten können, doch vermochten sie aus spektralem Rot und Blau kein reines Weiß, sondern nur Purpur und Rosa zu erhalten, und der neutrale Streifen im Spektrum fehlte.

Analoges gilt für die Mischungsgleichungen der Protanomalen. Da bei ihnen die Erregbarkeit für Rot stärker herabgesetzt ist, sind die Übergänge zwischen Gelb und Rot besonders unscharf; rote Lichter werden schon bei einer Intensität nicht mehr erkannt, bei der sie für den Normalen und Deuteranomalen noch deutlich sichtbar sind. Bei Einstellung der Rayleigh-Gleichung vermehren sie daher im Mischlichte den Rotanteil in einem Ausmaße, daß die Mischfarbe für den Normalen unzweideutig rot aussieht. Sie legen dabei ebenfalls (siehe Seite 37) mehr Gewicht auf Helligkeitsdifferenzen, als auf Wellenlängenunterschiede, und das Quantum der Rotzumischung hängt sehr wesentlich von der Intensität des gelben Vergleichslichtes ab.

Wird homogenem Rot reichlich Blau zugemischt, so wird der Rotgehalt der Mischung von den Protanomalen (gelegentlich aber auch von den Deuteranomalen) schon nicht mehr bemerkt, wo ihn der Normale noch deutlich erkennt. Violett aussehende Rot- und Blaumischungen, sowie ein homogenes, kurzwelliges, für den Normalen schon ins Violette gehende Licht halten die Protanomalen daher häufig für Blau. Läßt man sie ein objektiv dargestelltes Spektrum betrachten und sein Ende markieren, so zeigt sich, daß sie ein beträchtliches Stück vom äußersten Rot schon nicht mehr sehen.

Auch hier gibt es extreme Formen, die zwischen reinem Rot und Gelb nahezu Gleichung erhalten, wenn nur das richtige Helligkeitsverhältnis gewählt wird; namentlich wenn man solche Personen etwas länger (einige Sekunden) in das Okularloch des Farbenmischapparates blicken läßt, so verschwinden ihnen die Differenzen des Farbentones, und sie erklären, eine befriedigende Gleichung vor sich zu haben; nach einigem Ausruhen pflegt es dann allerdings meist nicht mehr zu stimmen. Sie können daher am Spektralapparate um so leichter als Protanopen imponieren, weil die einzige zweite Mischungsgleichung, die man am Anomaloskope (Modell I) zur Verfügung hat und die man naheliegender Weise gerne zur Unterscheidung heranziehen möchte, jene zwischen Gelb und Grün, für den Protanopen häufig kein genügend scharf begrenztes Helligkeitsverhältnis aufweist.

Guttmanns Untersuchungen über Farbenschwäche.

Endlich liegen zu dieser Frage noch ausgedehnte Untersuchungen A. Guttmanns vor, die schon deshalb besonderes Interesse beanspruchen, weil Guttmann selbst deuteranomal ist[1]).

Er berichtet, daß seine Unterschiedsempfindlichkeit im Gelb im Vergleiche zum Normalen um mehr als das **10fache** herabgesetzt sei, und zwar gehe die unterempfindliche Strecke vom Natrium aus ebensowohl nach Orange, wie nach Grün. Wenn er bei seinen Versuchen Farbe und Helligkeit änderte, so daß die Gleichung durch Regulierung beider Qualitäten hergestellt werden mußte, dann stieg seine Unsicherheit in der Gegend des Gelb noch nahezu um das Doppelte, während diese Modifikation die Einstellung des Normalen gar nicht beeinflußte.

Reines spektrales Grün erscheint ihm, auch bei optimaler Helligkeit, isoliert gesehen, vollständig farblos; dadurch ist seine Stelle auch bei Betrachtung des ganzen Spektrums leicht anzugeben.

Im Rot konnte er kaum eine Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit konstatieren, gibt aber an, daß er vielfach nicht imstande sei, ein violettes Licht mit Sicherheit von einem blauen zu unterscheiden; es gelänge ihm dies nur bei sehr hell leuchtenden violetten Farben.

Auch Guttmann betont, in wie außerordentlich hohem Maße die Anomalen bei Einstellung der Gleichungen nicht nur von der absoluten Helligkeit, sondern auch von dem Verhältnis der Helligkeiten der zu vergleichenden Lichter abhängig seien. Er mußte die in Gleichung zu stellenden Farben immer erst auf genau gleiche Helligkeit bringen, ehe er ein Urteil darüber abgeben konnte, ob auch der Farbenton gleich sei. Umgekehrt war er sehr leicht geneigt, zwei im Tone nicht erheblich voneinander abweichende Farben für gleich zu halten, wenn sie subjektiv genau helligkeitsgleich waren.

Alle diese Versuche lehren, daß sich das abweichende Farbensehen aller Anomalen (abgesehen von den extremen Fällen, die den Dichromaten schon ziemlich nahe stehen) hauptsächlich in einer Beeinträchtigung der Grünempfindung äußert, die so weit gehen kann, daß eine solche überhaupt unmöglich wird. In der Tat ist denn auch das Grün für alle Anomalen eine so wenig ausgesprochene Farbe, unterscheidet sich so wenig von Grau und Braun, daß sie die Benennung gewissermaßen instinktiv nur mit Vorsicht und Zögern anwenden. Während man aber häufig Deuteranomale findet, die eine kräftige Rotempfindung haben, dagegen der Grünempfindung völlig

[1]) Untersuchungen über Farbenschwäche, Zeitschrift für Sinnesphysiol,. Bd. 42, S. 24 und 250, Bd. 43, S. 146.

ermangeln, sind die Fälle von Protanomalie, bei denen die Rotempfindung sehr erheblich, die Grünempfindung aber nur sehr wenig beeinträchtigt ist, viel seltener.

Aichwertkurven der Anomalen. (Taf. III u. IV.)

Diese geänderte Verteilung der Reizwerte kommt in den Königschen Kurven sehr deutlich zum Ausdruck, wenngleich die Verhältnisse hier nicht so leicht zu übersehen sind, wie bei den Zweifarbensystemen. Die Gipfel der Rot-, beziehungsweise Grünkurve sind gegen die D-Linie hin verschoben und beide Kurven einander nähergerückt. Während im Kurvenbilde des Normalen zwischen **603** und **571** $\mu\mu$ die Rotkurve abfällt und die Grünkurve ansteigt, sehen wir beim Protanomalen in dieser Strecke ein nahezu gleichmäßiges Ansteigen beider Kurven, beim Deuteranomalen ihr allmähliches Absinken. Setzen wir an den Kreuzungspunkt der normalen Rot- und Grünkurve (wo beide Intensitäten gleich) beiläufig die Stelle des reinen Gelb, so wird seine wechselnde Lage aus dem Kurvenbilde der Anomalen leicht verständlich, da die Übergänge von Gelb nach Rot und Grün förmlich durcheinander geworfen erscheinen.

Faßt man die Richtungslinie **603** $\mu\mu$ genauer ins Auge, so ergibt sich ohne weiteres, daß der Protanomale für langwellige Lichter wesentlich unterempfindlicher ist, als der Deuteranomale; bei **670** $\mu\mu$ ist für den Protanomalen noch kein Rotwert nachzuweisen, während er für den Deuteranomalen schon etwa **20** beträgt; der erstere wird daher in der Rayleigh-Gleichung ein beträchtliches Plus an Rot erfordern. Die Verkürzung des Spektrums stimmt etwa mit jener der Protanopen überein.

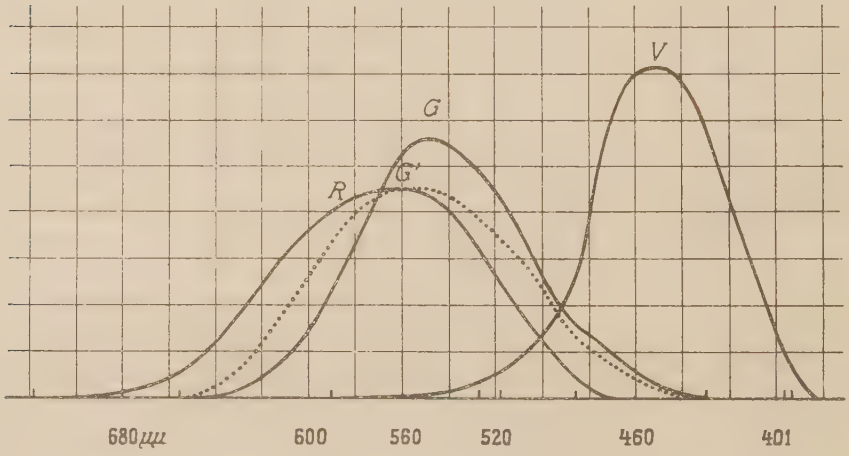
In der D-Linie überwiegt für den Protanomalen der Rotwert, für den Deuteranomalen der Grünwert, doch werden diese Werte je nach dem Grade der Annäherung beider Kurven nicht unwesentlich wechseln. Bei **535** $\mu\mu$ beträgt der Grünwert für den Protanomalen etwa **35**, für den Deuteranomalen nur **20**, und die geforderte Vermehrung des Grünanteils in der Rayleigh-Gleichung des Grünanomalen wird dadurch ebenso leicht verständlich, wie der größere Reizwert des kurzwelligen Lichtes für den Protanopen und sein geringerer für den Deuteranopen. Die absteigenden Schenkel der Rot- und Grünkurven sind bei beiden Formen so nahe aneinandergerückt, daß die Unterschiede ihrer Intensitätswerte mit zunehmender Annäherung immer geringer werden und Grün als selbständige Farbe immer weniger zur Geltung kommt.

Originalkurven Königs.

Zur besseren Veranschaulichung der Gestaltsveränderung der Grünkurve sei in Fig. 3 eines der Königschen Bilder (in der Darstellung von Helmholtz, physiol. Optik, II. Aufl., S. 358) wiedergegeben. Die Kurven gelten für das Interferenz-Spektrum des Sonnenlichtes, in

dem wegen der gleichmäßigen Dispersion gleichen Horizontalabständen auch überall gleiche Unterschiede der Wellenlänge entsprechen. Ihr Maßstab ist so gewählt, daß die von den Kurven und der Abszissenachse umschlossenen Flächen für alle Kurven gleich sind. R, G und V sind die individuellen Kurven seines Mitarbeiters Dieterici, eines normalen Trichromaten. Die punktierte Kurve G′ ist die Grünkurve des Deuteranomalen Zehnder, deren Veränderung in dieser Darstellung plastischer zum Ausdruck kommt, als bei der Berechnung auf gleiche Höhe. Die ganze Kurve erscheint beträchtlich nach der langwelligen Seite hin verschoben und ihre Gestalt könnte als Übergangsform zwischen

Fig. 3.



den normalen Rot- und Grün-Kurven bezeichnet werden. Dagegen kommt die Verschiebung des Kurvengipfels hier nicht so deutlich zum Ausdruck, wie in der Originalzeichnung Königs[1]) oder in unserer Darstellung. Die Rot-Kurve Zehnders weicht nur unmerklich von der normalen Rot-Kurve ab und die zwei Violett-Kurven fallen ganz zusammen, da alle Farbengleichungen, in denen ausschließlich Licht von kleinerer Wellenlänge als **500** $\mu\mu$ verwendet wird, von normalen und anomalen Trichromaten gegenseitig anerkannt werden. Die R′- und V′-Kurven Zehnders sind daher gar nicht besonders eingezeichnet.

Zusammenfassend haben wir uns also die Anomalien des Farbensinnes entstanden zu denken durch eine abweichende Bildung der Sehsubstanzen, die zu einer Veränderung der Reizwerte in der langwelligen Spektralhälfte führt; diese findet nach den Königschen Analysen ihren sichtbaren Aus-

[1]) Gesammelte Abhandlungen, Fig. 5, S. 288.

druck in der Verschiebung einer der Valenzkurven im Sinne der Annäherung an die andere. Bei spektraler Untersuchung sind die Anomalen demgemäß primär und wesentlich charakterisiert durch die abweichenden Mischungsgleichungen im warmen Spektralteile, speziell durch ihr besonderes Verhalten bei der Mischung von Rot und Grün zu Gelb in der diagnostisch ausschlaggebenden Rayleigh-Gleichung. Sehr häufig geht damit Hand in Hand eine Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit gegen Farbenreize überhaupt, wie sie speziell für die Region des Gelbrot, Gelb und Gelbgrün bereits oben beschrieben wurde.

D. Sekundäre Merkmale der Anomalen.

Außer diesem abweichenden spektralen Verhalten weisen die Anomalen noch einige andere Eigentümlichkeiten des Farbensehens auf, welche für die praktische Betätigung besonders schwer ins Gewicht fallen; sie sind es auch in erster Linie, welche die Erkennung der Anomalen mit einfacheren Hilfsmitteln ermöglichen. Man bezeichnet sie nach Nagel[1]) einstweilen als sekundäre Merkmale; sie wurden von A. Guttmann[2]) 1904 auf dem Giessener Psychologenkongreß mitgeteilt. Die Anomalen zeigen:

1. Herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne,

welche Erscheinung bereits im vorhergehenden mit gewürdigt wurde.

2. Größere Abhängigkeit von der Intensität der Reizlichter.

Sie sind abhängiger von der Intensität des farbigen Reizes insofern, als das Optimum der Lichtstärke für die Erkennung von Farbenunterschieden bei ihnen wesentlich höher liegt, als bei den Normalen. Das Intervall zwischen dem Merklichwerden des unterschwelligen Reizes bis zum Erlöschen der Farbenempfindung durch Blendungserscheinungen ist wesentlich eingeschränkt. Schwach beleuchteten Objekten gegenüber versagt ihr Farbenunterscheidungsvermögen ebenso, wie bei einer Steigerung der Intensität über eine gewisse Grenze hinaus.

3. Größere Abhängigkeit von Helligkeitsdifferenzen.

Sie sind abhängiger von Helligkeitsdifferenzen insofern, als ihnen diese leicht auffälliger erscheinen, als Farbenunterschiede.

[1]) l. c., S. 326.

[2]) Dr. Alfred Guttmann (Berlin), Untersuchungen an sogenannten Farbenschwachen. Bericht über den I. Kongreß f. exper. Psychol., Leipzig, J. A. Barth 1904.

Derselbe, Untersuchungen über Farbenschwäche. Zeitschr. für Sinnesphysiologie, Bd. 42 und 43.

Bei der Unsicherheit ihrer Farbenempfindung wenden die Anomalen (ganz ähnlich, nur nicht so ausschließlich wie die Dichromaten) ihre Aufmerksamkeit in erster Linie den sekundären Kriterien der Helligkeits- und Sättigungsdifferenzen zu und erlangen in dieser Unterscheidungsart durch Übung allmählich eine derartige Fertigkeit, daß sie die Herabsetzung ihrer Unterschiedsempfindlichkeit nicht nur mehr weniger verbergen, sondern unter bestimmten Umständen dem Normalen überlegen scheinen können. Dagegen liegt auch die Versuchung sehr nahe, zwei im Ton nur wenig abweichende Farben für gleich zu halten, wenn sie subjektiv helligkeitsgleich erscheinen, während der Normale von Helligkeitsdifferenzen leicht absehen und ein sicheres Urteil über die Gleichheit verschieden heller Farben abgeben kann.

4. Größere Abhängigkeit von der Winkelgröße des Objektes.

Sie brauchen zum Erkennen von Farben erheblich größere Gesichtswinkel. Sie haben daher alle die Gewohnheit, Gegenstände, deren Farbe sie erkennen wollen, womöglich aus geringer Entfernung zu betrachten, also sich z. B. auf die Farbentafeln niederzubeugen oder die Wollbündel nahe ans Gesicht heranzubringen. An sehr kleinen Objekten können selbst recht gesättigte Farben für den Anomalen unter Bedingungen unerkennbar bleiben, unter denen sie der Normale leicht wahrnimmt. In der Unterscheidung roter, grüner und farbloser Lichter unter dem Gesichtswinkel von $^1/_{10}{}^0$ und weniger sind sie fast genau so unsicher, wie typische Dichromaten; namentlich wenn man ihnen isoliert nur Grün oder nur Weiß (beziehungsweise Gelb) zeigt, sind sie fast ganz aufs Raten angewiesen.

Diese Abhängigkeit von der Winkelgröße der Objekte ist namentlich für die Bediensteten der Eisenbahn und Marine von entscheidender Wichtigkeit, da die Signale fast ausnahmslos unter sehr kleinem Winkel gesehen werden müssen, und zwar wird diese Minderwertigkeit um so mehr ins Gewicht fallen, als Lichtstärke und Sättigung der Signale meist unter der für die Farbenerkennung optimalen Größe zurückbleiben. Nagel sieht darin einen der wesentlichsten Gründe, aus denen die Anomalen als farbenuntüchtig bezeichnet werden müssen.

5. Verlängerte Erkennungszeit für Farben.

Sie benötigen zum Erkennen von Farben erheblich längere Zeit[1]), und zwar für Rot etwa das **20**fache, für Grün das **50**fache gegen jene des Farbentüchtigen. Unter dem Gesichtswinkel von mehreren Graden kurz aufblitzende Farbenfelder erkennen Anomale ebenso unsicher, wie die Dichromaten; sie erhalten meist nur den Eindruck

[1]) Die Tatsache der verlangsamten Erkennung war bereits Donders bekannt; die ersten systematischen Versuche darüber hat Guttmann angestellt.

von Helligkeit, aber nicht von Farbe; erst bei etwas längeren Expositionen nehmen sie wahr, ob es eine warme oder kalte Farbe ist, können aber innerhalb jeder dieser Gruppen keine sicheren Unterschiede machen. Blaugrün und reines Grün ist für sie unter diesen Umständen überhaupt farblos; in der kürzesten Zeit werden Gelb und Blau erkannt.

Auch die verlängerte Erkennungszeit für Farben ist ein praktisch ganz besonders wichtiges Symptom der anomalen Systeme, da im Eisenbahn- und Marinedienste häufig ein blitzschnelles richtiges Erkennen der Farbe und daraus folgendes automatisches Handeln vonnöten ist.

6. Verstärktes Auftreten des Farbenkontrastes.

Ein besonders charakteristisches Symptom, welches die Anomalen aufweisen, ist ihr gesteigerter Simultan- und Sukzessivkontrast. Diese Eigentümlichkeit äußert sich sowohl bei Rot- als bei Grünanomalen nur dann, wenn Rot oder Grün die kontrasterregenden Farben sind, nicht aber bei Blau und Violett. Ein weißes oder gelbes Licht erscheint ihnen grün, wenn ein kräftiges rotes Licht daneben steht; rot, wenn ein lebhaftes Grün daneben sichtbar ist (wegen der außerordentlichen Labilität der Grünempfindung weniger ausgesprochen und seltener). Bekanntlich hat Nagel diese auffallende Erscheinung in der Abteilung B seiner Tafeln mit bestem Erfolge zur Erkennung der Anomalen benützt, und auch die dritte Einstellung seines Farbengleichungsapparates (Rot: Gelb gestattet eine sehr bequeme diagnostische Verwertung dieses sinnfälligen Symptoms.

Eine unterschwellige Farbe kann durch den gesteigerten Kontrast seitens einer überschwelligen Farbe über die Schwelle gehoben werden. Zwei Farben, die, für sich betrachtet, z. B. infolge geringer Sättigung, unterschwellig sind, können, nebeneinanderstehend, durch gegenseitigen Kontrast spezifisch empfunden werden. Der Farbenkontrast führt den Anomalen unter günstigen Umständen zu Farbenempfindungen, die jenen des Farbentüchtigen nahe kommen, ja sie sogar an Feinheit übertreffen können[1]).

Es ist ebenso auffallend als interessant, daß die Anomalen, bei denen die Möglichkeit der Grünempfindung so bedeutend eingeschränkt ist, daß sie sich „gewissermaßen um sie herumdrücken, wo sie nur können" (Nagel), mit solcher Bestimmtheit von Grün sprechen, sobald der Kontrast von seiten eines lebhaften Rot ihnen solches erscheinen läßt.

Dagegen ist der sogenannte Florkontrast bei Anomalen herabgesetzt, welche Erscheinung auch Guttmann an sich selbst bestätigen konnte; er sieht die Ursache darin, daß die kontrasterregende Farben-

[1]) Guttmann, Untersuchungen über Farbenschwäche, S. 161.

fläche durch die Bedeckung mit Florpapier ungesättigt und dadurch unterschwellig wird, so daß sich kein Kontrast entwickeln kann.

7. Größere Ermüdbarkeit des Farbensinnes.

Die Anomalen ermüden farbigen Reizen gegenüber schnell und halten schließlich Farben für gleich, die sie mit ausgeruhtem Auge sofort als ungleich erkennen. Diese gesteigerte Ermüdbarkeit macht sich auch bei Untersuchungen am Spektralapparate recht störend geltend und bewirkt fehlerhafte Untersuchungsergebnisse, wenn man nicht die Dauer der Einzelbeobachtung auf ein entsprechend geringes Maß (2 bis 3 Sekunden) einschränkt.

Guttmann berichtet, daß ihn gerade diese Farbenuntersuchungen unverhältnismäßig mehr anstrengten, als andere sinnesphysiologische Experimente. Wenn er etwa 10 Einstellungen nacheinander vorgenommen hatte, war er gerade in den letzten Fällen sehr unsicher. Betrachtete er die Einzeleinstellung mehrere Sekunden lang, so wurde er in der Beurteilung immer schwankender; Farben, die ihm eben gleich erschienen waren, wurden plötzlich komplementär, um sofort wieder ähnlich oder gleich auszusehen; ein kurzes Fortblicken auf eine neutrale Fläche ließ diese subjektive Erscheinung jedesmal schnell verschwinden; viele Einstellungen, die er vorher in langem, sorgfältigem Herumprobieren als gleich erklärt hatte, wurden dann beim ersten Hinsehen sofort als ungleich erkannt.

Das nicht benützte Auge blieb auch bei größter Ermüdung des anderen völlig frisch und gestattete, derartige Ermüdungsgleichungen sofort richtigzustellen. Guttmann sieht darin den Beweis, daß sich der Vorgang in der Netzhaut abspielt. Ein Reiz, der unter normalen Verhältnissen zur Auslösung einer Farbenempfindung genüge, sei nicht hinreichend, die erhöhte Neuronschwelle des Anomalen zu übersteigen; er müsse vielmehr erst nach räumlicher und zeitlicher Ausdehnung, wie Intensität gesteigert werden; auf diese Mehrleistung reagiere die Netzhaut mit vorzeitigen Ermüdungserscheinungen und stärkerer Produktion von Kontrastfarben.

Auch bei den einfachen Tafelproben erlebt man es sehr häufig, daß die Untersuchten beim ersten Hinblicken einiges erhaschen, aber nach kurzer Zeit erklären, sie könnten nicht mehr weiter, da ihnen alles durcheinander schwimme.

Zusammenfassung der sekundären Merkmale.

Guttmann faßt diese Ergebnisse dahin zusammen, daß die Schwelle der spezifischen Farbenempfindung für den Anomalen nicht nur im allgemeinen höher liegt, sondern bei Herabsetzung des Reizes in irgendeinem Sinne — sei es in räumlicher Ausdehnung, zeitlicher Dauer oder im Optimum

der Intensität — weit stärker ansteigt, als die Unterschiedsschwelle des Normalen. Alle Farbenschwellen sind in mannigfacher Weise vom Kontraste abhängig.

Guttmann[1]) hat auch speziell darauf hingewiesen, in welch mannigfacher Weise diese Symptome einander beeinflussen können. Schon für zwei derselben ergeben sich 21 mögliche einfache Kombinationen. Zwei Symptome können sich addieren; die Wirkung des einen kann durch die antagonistische Kraft eines anderen annulliert werden; ein Symptom kann die geringere antagonistische Wirkung eines anderen überwinden usw. Ebenso kann der Endeffekt der Kombination zweier Symptome durch die Wirkung eines dritten einzelnen Symptoms oder den Endeffekt der Kombination zweier oder mehrerer anderer Symptome gesteigert oder aufgehoben oder in sein Gegenteil verkehrt werden. Die Mannigfaltigkeit der Formen wird dadurch ebenso verständlich, wie die Schwierigkeit, den Einzelfall genauer zu analysieren.

E. Farbensehen der Dichromaten auf großem Felde.

Anschließend sollen Nagels Untersuchungen über das Sehen der Dichromaten auf großem Felde kurz mitgeteilt werden, weil sie die Beziehungen beider Systeme enger knüpfen, das allgemeine Verständnis wesentlich fördern und auch praktisch nicht ohne Bedeutung sind[2]).

Es war Nagel aufgefallen, daß er sich (als Deuteranop) bei großen Flächen sehr selten darin irrte, ob eine Farbe rötlich sei oder nicht. Er zog daraus den Schluß, es müsse für ihn eine spezifische Rotempfindung geben, die sich nicht nur durch verschiedene Sättigung von der Grünempfindung unterscheide. Er erzählt bei dieser Gelegenheit, daß er schon in früher Kindheit die von anderen als rot, grün, gelb und weiß bezeichneten Schiffslaternen auf den Schweizer Seen bei Nacht nicht unterscheiden konnte, dagegen die roten Lichter sofort mit Leichtigkeit herausfand, wenn sie sich im Wasser spiegelten und ihr Bild in einen langen Streifen ausgezogen war.

Daraufhin gerichtete Untersuchungen haben seine Voraussetzung voll bestätigt. Die Dichromaten-Gleichung Blaugrün : Purpur am Farbenkreisel stimmte auf 5 bis 6 *m* Abstand genau, bei 2 *m* schon weniger befriedigend, gar nicht mehr aus 0·5 *m*. Das gleiche zeigte sich bei Betrachtung von Rot und Gelb oder Rot und Grün, die foveal für den Deuteranopen bei geeigneter Helligkeitsregulierung völlig befriedigende Gleichung geben. Vergrößert man den Gesichtswinkel auf 10 bis

[1]) l. c., S. 262.

[2]) Neue Erfahrungen über das Farbensehen der Dichromaten auf großem Felde. Zeitschrift für Sinnesphysiologie, Bd. 41, 1906, S. 319.

20°, so erscheint die rote Hälfte des Feldes gesättigter farbig als die andere, und es ist in keiner Weise möglich, durch Sättigungsverminderung auf der Rotseite die Gleichung auch für große Flächen herzustellen, sondern die Farbendifferenz bleibt bestehen.

Ähnliche Ergebnisse zeigten die Versuche mit Spektralfarben. Die Roterkennung erfolgte auch hier nur dann mit Sicherheit, wenn die Lichtstärke ziemlich groß war, bei geringeren Intensitäten versagte das Unterscheidungsvermögen bei den ungesättigten Nuancen. Dabei wies das Sehen auf großem Felde ganz bemerkenswerte Ähnlichkeiten mit dem Farbensehen der anomalen Trichromaten auf, und auch die sekundären Merkmale dieses Systems ließen sich nachweisen.

1. Kein Deuteranomaler erhält eine Gleichung zwischen Rot und Gelb, wohl aber ist die Unterschiedsempfindlichkeit in der Region des Gelbgrün oft auf Null reduziert. Das gleiche traf für Nagel zu, wenn die Farben auf großem Felde dargeboten wurden; Rot gab keine Gleichung mit Gelb, wohl aber Gelb mit Gelbgrün.

2. Homogenes Rot verliert bei Herabsetzung der Intensität für den Deuteranomalen seine spezifische Farbigkeit und gibt dann Gleichung mit lichtschwachem Gelb; ebenso Grün. Das gleiche gilt für Dichromaten auf großem Felde.

3. Violett hält der Anomale häufig für Blau. Dasselbe trifft für den Dichromaten auf großem Felde zu; das Blau verdeckt auch hier für ihn das Rot.

4. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne im langwelligen Spektralteile sinkt für den Anomalen bedeutend mit Verkürzung der Expositionszeit. Auch der Dichromat bedarf auf großen Feldern einer viel längeren Beobachtungszeit, um annähernd die gleiche Leistung aufzuweisen, wie der Normale auf kleinem Felde.

5. Der Kontrast ist auch für den Dichromaten auf großen Flächen gesteigert. Gelb, Weiß und Grau neben lebhaftem Grün erscheinen rot.

Das Grün als eigentliche Farbe ist für die Deuteranopen etwas Unbekanntes, sie erkennen es selbst bei großen Feldern nicht, wenn es nicht sehr gesättigt ist; vor allem haben sie unter keinen Umständen als Nachbild eines Rotreizes oder durch Induktion von seiten einer roten Fläche aus eine Grünempfindung; wohl aber ausgeprägte Rotempfindung durch Induktion von seiten einer grünen Fläche oder als Nachbild eines gesättigten Grün. Ob eine Fläche grün ist oder nicht, konnte Nagel nur daran mit Sicherheit erkennen, ob sie in einem neutralen Nachbarfeld durch Simultankontrast oder im Nachbilde Rotempfindung hervorrief. Daß dagegen eine Fläche rot ist, konnte er direkt erkennen, wenn nur die Farbe genügend hell, nicht zu ungesättigt und das Feld genügend groß war.

Bei den Anomalen tritt bekanntlich auch die umgekehrte Kontrastwirkung auf, indem Grau, Braun oder Gelb neben kräftigem Rot für sie grün erscheint; die Anomalen kennen eben die Empfindung Grün wirklich, wenn sie auch bei kleineren Feldern, kurzer Sichtbarkeitsdauer, geringer Sättigung und Helligkeit oft genug Verwechslungen mit Braun oder Grau machen. Noch mehr eingeschränkt ist die Möglichkeit der Grünempfindung bei den extremen Formen. So ergibt sich eine zusammenhängende Reihe von Farbensinnarten, in der die Grünempfindung sukzessive immer mehr verschwindet; wir wissen aber bis jetzt nichts von einer ähnlichen Reihenbildung in der Rotempfindung. Nagel hält es für wahrscheinlich, daß auch hier Unterschiede vorkommen; sicher vorhanden sind sie in bezug auf die zeitlichen Verhältnisse der Farbenempfindung. „Bei einem Rot bestimmter Sättigung, Nuance und Helligkeit brauche ich ebensoviele Sekunden, um das Rot zu empfinden und zu erkennen, als der Normale Hundertstelsekunden braucht". Die Deuteranomalen stellt Nagel in dieser Beziehung etwa in die Mitte zwischen sich und die Normalen.

Nagel will nicht behaupten, daß sich alle Dichromaten, oder auch nur alle Deuteranopen so verhalten müßten, wie er, wohl aber, daß diese eigenartigen Erscheinungen auch bei nicht wenigen anderen Deuteranopen vorkommen; ebenso hat er bei einigen Protanopen den bestimmten Eindruck gewonnen, daß sie auf großen Flächen kein rein dichromatisches Sehen haben, sondern sich wie Protanomale verhalten. Nagel schließt daraus, daß es Dichromaten gibt, die im rein fovealen Sehen ein typisch dichromatisches System aufweisen, beim Sehen mit großen Netzhautflächen aber ein komplizierteres System zeigen, das nur als ein trichromatisches bezeichnet werden kann; ob es mit einem der typischen anomaltrichromatischen Systeme zusammenfalle, wollte er noch nicht endgiltig entscheiden. Es wäre naheliegend, anzunehmen, daß das Sehen dieser Art von Dichromaten auf großem Felde ebensolche Verschiedenheiten aufweise, wie das foveale Sehen der anomalen Trichromaten, wodurch die Mannigfaltigkeit der Formen unserem Verständnisse wesentlich näher gerückt wird. Eine Fortsetzung dieser Versuche und namentlich ihre Ausdehnung auf die Anomalen wäre dringend zu wünschen, denn die Annahme, daß auch die Anomalen auf großem Felde ein vollkommeneres System aufweisen, ist nicht ohne weiteres abzulehnen; sie würde auch hier die zahlreichen Erscheinungsformen sehr schön erklären.

Auch in praktischer Beziehung sind diese Untersuchungen Nagels nicht ohne Bedeutung. Wenn die Deuteranopen auf großen Feldern nicht mehr dichromatisch sehen, wird es leicht verständlich, warum so viele Grünblinde die Wollprobe glatt bestehen, namentlich die Purpur-

probe. Die Wollbündel präsentieren sich eben unter einem Gesichtswinkel, der groß genug ist, um Rotempfindung entstehen zu lassen; die Langsamkeit der Entwicklung derselben erklärt die Langsamkeit der Wahl. Auch die Möglichkeit, grüne und graue Wollbündel zu unterscheiden, kann in verschiedenem Ausmaße vorhanden sein, je nach dem Grade der Entwicklung, welche die trichromatische Peripherie aufweist. Viele Deuteranopen vermögen bei Lupenvergrößerung auf Nagels und Stillings Tafeln die roten Punkte zu erkennen.

Nagel meint schließlich, daß sich auch für die psychologische Betrachtung des Farbensinnes neue Wege öffnen müßten, sobald es gelingen sollte, quantitative Untersuchungen des Farbensinnes auf großen Netzhautflächen mit derselben Genauigkeit anzustellen, wie auf fovealen Feldern. Die von ihm gefundenen Tatsachen drängen noch mehr dazu, die subjektive psychologische Gliederung der Farbenempfindung von der physiologischen Komponentengliederung der Farbensysteme scharf getrennt zu halten. Das an der Gegenfarbentheorie besonders Bestechende ist, daß sie die psychologische Ordnung der Farbenempfindungen und die physiologischen Gesetze der Erregung im lichtempfindlichen Apparate in eine so enge und einfache Verbindung setzt. Demgegenüber kann man aber wohl nicht verkennen, daß das eigentliche Prinzip der eng zusammenhängenden Gegenfarben in vielen Fällen durchbrochen ist. Man kennt zahlreiche pathologische Fälle, wo in evidenter Weise rein nur die Grün- oder die Gelbempfindung ausgelöscht ist; man kennt anomale Trichromaten die kräftige Rotempfindung haben, aber der Grünempfindung völlig ermangeln, und als dritte Tatsachenreihe gesellt sich dazu der Nachweis Nagels, daß Dichromaten seiner Art auf großem Felde eine Rotempfindung aufweisen, während die Grünempfindung selbst bei Darbietung großer Flächen gänzlich fehlt[1]).

Schlußbetrachtung über die Farbensysteme.

Wenn wir die vorstehende, nach den Arbeiten von Donders, v. Kries und W. Nagel zusammengefaßte Darstellung der Farbensinnstörungen nochmals kurz überblicken, so gelangen wir auf Grund von experimentellen Tatsachen und frei von jeder theoretischen Annahme zu einer sehr einfachen und durchsichtigen Vorstellung über die verschiedenen Farbensysteme und ihre gegenseitigen Beziehungen[2]).

Wir denken uns das optische Empfangsorgan des Normalen aus drei Komponenten bestehend, deren Zusammenwirken die Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen bedingt. Wie man sich diese Komponenten vorstellen will, kann hier unerörtert bleiben,

[1]) Nagel l. c., S. 334.

[2]) v. Kries, Farbensysteme S. 245, 313.

wesentlich ist nur, daß man durch die Annahme dreier Erregungsarten alle Tatsachen der Farbenmischung vollständig erklären kann. Charakterisiert denken wir uns die drei Komponenten durch die drei Aichwertkurven, welche die Stärke der Lichtwirkung auf die betreffenden Komponenten als Funktion der Wellenlänge angeben und immer und überall wiederkehren. Wir bezeichnen das System als das normal-trichromatische.

Der Ausfall einer der Kurven (Komponenten) führt zur Bildung eines dichromatischen Systems, und es ergeben sich je nach dem Fehlen der ersten, zweiten oder dritten Komponente drei verschiedene Formen von partieller Farbenblindheit. Jede von diesen stellt eine Vereinfachung, eine Reduktion des normalen trichromatischen Systems dar, welche Beziehung dadurch zum Ausdruck kommt, daß zwei im ursprünglichen Farbensystem gleiche Lichter auch in den reduzierten Formen gleich bleiben, außerdem aber auch alle diejenigen gleich werden, die sich im ursprünglichen System nur durch ihre Wirkung auf den einen, nunmehr mangelnden Teil unterscheiden. Die Gleichungen der Normalen werden von den Dichromaten ausnahmslos anerkannt.

Nehmen wir weiterhin an, daß die einzelnen Komponenten nicht wegfallen, sondern durch Abänderung der für sie geltenden Kurve der Reizwerte modifiziert werden, so gelangen wir zu den anomalen trichromatischen Systemen. Diese sind als dreigliedrige Typen keine Reduktions-, sondern Alterationsformen des normalen trichromatischen Systems, daher die für Normale zutreffenden Gleichungen von den Anomalen in der Regel nicht anerkannt werden. Die theoretische Deutung der anomalen Systeme finden wir nach König in der Verschiebung einer der drei Valenzkurven im längerwelligen Teile des Spektrums im Sinne der Annäherung an die andere. Die Deuteranomalen nehmen wir dadurch charakterisiert an, daß bei ihnen die Grünkomponente in der üblichen kurvenmäßigen Darstellung der Rotkomponente ähnlicher verläuft; die Protanomalen dadurch, daß die Rotkurve sich nach Gestalt und Lage der Grünkurve nähert.

Nach diesen hauptsächlich für praktische Zwecke zugeschnittenen Ausführungen wird es keinen Schwierigkeiten unterliegen, die diagnostischen Kriterien der einzelnen Systeme und ihrer Unterformen festzustellen und weiter darzutun, auf welche Weise wir dieselben mit Hilfe des Anomaloskops nachweisen können. Ehe wir damit beginnen, müssen wir uns erst mit der Einrichtung der Instrumente vertraut machen, da ohne diese Kenntnis ein wirklich nutzbringender Gebrauch derselben kaum möglich ist.

II. Beschreibung beider Modelle des Nagelschen Anomaloskops.

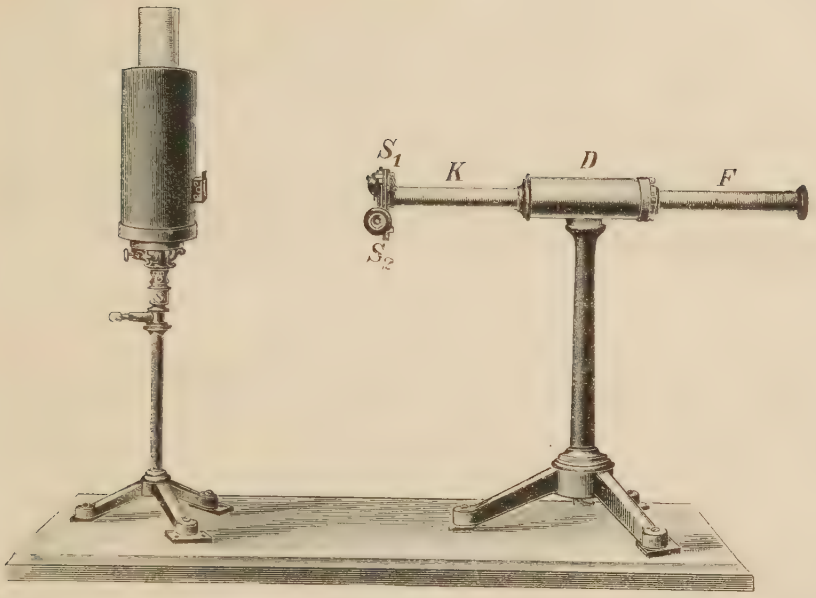
Eine exakte Diagnose und genauere Kenntnis der Farbensinnstörungen wurde für die Allgemeinheit erst möglich, als Nagel daran ging, die großen und komplizierten Farbenmischapparate der physiologischen und psychologischen Laboratorien so zu vereinfachen, daß sie auch in kleinem Format und bei mäßigen Preisen eine tadellos exakte Arbeit gestatten, ohne bei der praktischen Handhabung zu viel Übung oder Sachkenntnis zu verlangen. Das Resultat dieser Bemühungen sind die kleinen Spektralphotometer, die heute unseren wichtigsten und einfach unentbehrlichen diagnostischen Behelf darstellen[1]).

Die Einzelheiten der Konstruktion, die Arbeitsbedingungen und Fehlerquellen sollen hier nur soweit berührt werden, als sie dem Instrumente Eigentümliches und vom Standpunkte der Methodik Interessierendes bieten.

Ein Spektroskop, das zur praktischen Farbenprüfung dienen soll, muß die Möglichkeit bieten, ein binäres Gemisch zweier Lichter mit einem homogenen Lichte zu vergleichen. Das einfachste Verfahren zur Mischung von zwei spektralen Lichtern besteht darin, daß man in einem solchen Apparate statt eines Kollimator-(Eintritts-)spaltes deren zwei horizontal nebeneinander anbringt. Es werden dann in der Ebene des Okularspaltes zwei Spektren entworfen, die sich teilweise decken, wodurch man je zwei gerade aufeinanderliegende homogene Lichter durch Addition zur Mischung bringen kann. Der Wellenlängenunterschied der zwei Lichter läßt sich je nach dem Horizontalabstande der Spalte be-

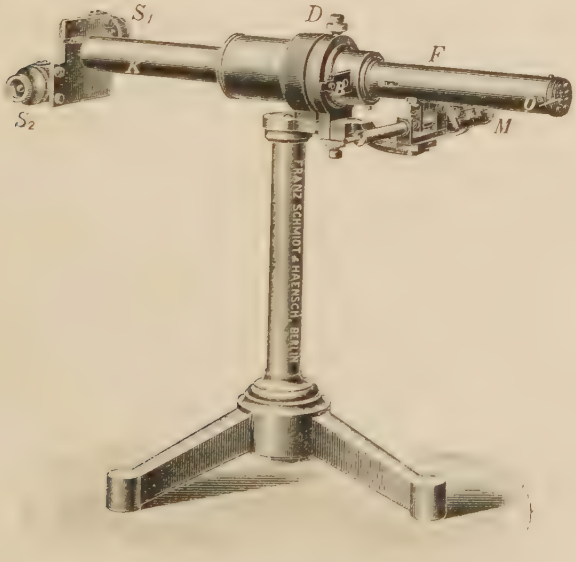
[1]) Zwei Apparate für die augenärztliche Funktionsprüfung von W. A. Nagel, Zeitschrift f. Augenheilkunde. Bd. XVII, Heft 3. Derselbe: Methodik zur Erforschung des Licht- und Farbensinnes, Sinnesphysiologie in Tigerstedts Handb. der physiologischen Methodik, S. 73 Außerdem: M. v. Frey und J. v. Kries, Über die Mischung von Spektralfarben. Arch. f. Physiologie, 1881, S. 336. Donders, Über Spektroskope. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde, 1881. v. d. Weyde, v. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1882, S. 1. Donders, Farbengleichungen. Arch. f. Physiol 1884.

Fig. 4.



Modell I des Nagelschen Anomaloskops mit Auerlampe auf einem Grundbrette montiert.

Fig. 5.



Modell II des Nagelschen Anomaloskops.

liebig wählen. Bringt man über diesem Doppelspalt noch einen dritten einfachen Spalt an, so hat man die gewünschte Kombination, indem nun in der Ebene des Okularspaltes ein einfaches und ein paariges Spektrum übereinander entstehen, deren Lichter man unter den gleich zu beschreibenden näheren Bedingungen miteinander vergleichen kann.

Ein derartiger, von Nagel Anomaloskop benannter Apparat wird von der Firma Franz Schmidt und Haensch[1]) in zwei verschiedenen Modellen hergestellt. Die äußere Form des einfacheren Modells I ist in Fig. 4, jene von Modell II in Fig. 5 (Seite 53) wiedergegeben. Fig. 1 auf Tafel V zeigt an einem Längsschnitte in Parallelperspektive die innere Einrichtung der Apparate.

Auf einem Metallfuße (Fig. 4) ist in horizontaler Lage ein Messingrohr befestigt, welches eine geradsichtige, dreiteilige Prismenkombination D einschließt; dieselbe hat eine größere Dispersion als die einfachen dreiseitigen Flintglasprismen der älteren Apparate und gibt daher ceteris paribus reinere Lichter. Das Rohr verlängert sich nach der einen Seite mit dünnerem Kaliber in das sogenannte Kollimatorrohr K, welches die Spaltvorrichtung trägt; nach der anderen Seite in das Okularrohr F. Wie bei allen Spektralapparaten trägt das Kollimatorrohr an seinem dem Prisma zugekehrten Ende eine achromatische Linse O_1 (Taf. V, Fig. 1), in deren Brennebene die Spaltvorrichtung liegt; ebenso enthält das Okularrohr an seinem Prismaende die achromatische Linse O_2, in deren Brennpunkte die Austrittspupille A liegt. Das Okular entfällt bei dieser Einrichtung; an seiner Stelle ist eine Kapsel in das Okularrohr eingeschoben, welche in der Abbildungsebene der Spektren bei Modell I ein Okularloch, bei Modell II einen Okularspalt trägt.

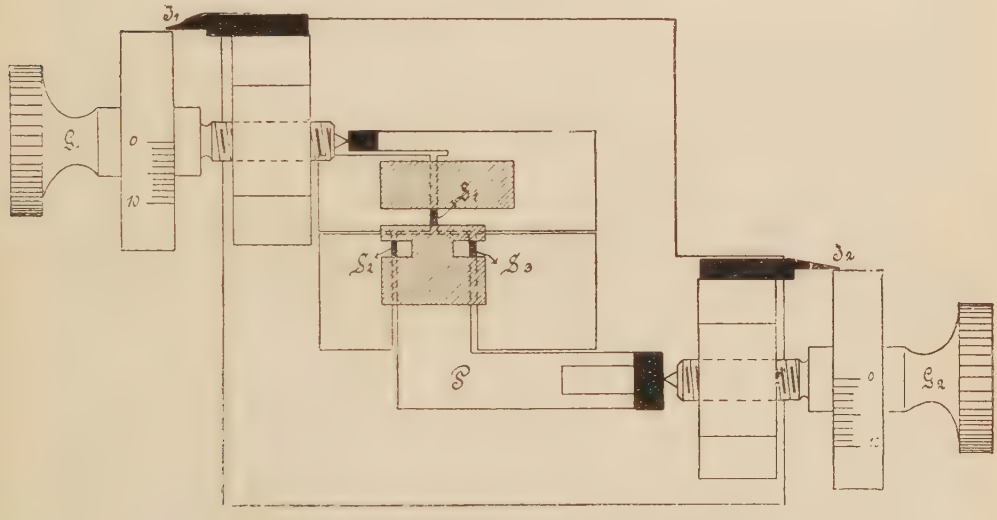
Die Anordnung der Spaltvorrichtung ist ähnlich der von v. Frey und v. Kries, sowie von Donders verwendeten und wird schematisch durch Fig. 6 veranschaulicht. Der mit S_1 bezeichnete obere Spalt ist durch die Mikrometerschraube G_1 in seiner Weite verstellbar; die beiden darunter befindlichen mit S_2 und S_3 bezeichneten Spalte sind gekoppelt, d. h. der eine kann (durch die Stellschraube G_2) immer nur unter Verengerung des anderen erweitert werden. Die äußeren Backen beider Spalte stehen unverrückbar fest, während das mittlere Metallstück P, welches die inneren Backen beider Spalte bildet, durch die Schraube G_2 hin und her geschoben werden kann, wodurch eine beliebige Änderung des Verhältnisses beider Spaltweiten ermöglicht wird; die Summe der Weite beider Spalte, sowie ihr gegenseitiger Abstand bleiben aber unveränderlich.

[1]) Werkstätten für Präzisionsmechanik und Optik, Berlin, S. 42, Prinzessinnenstraße 16.

Die Spaltmeßschrauben haben bei Modell I und II eine Gewindesteigerung von **0·5** *mm*; die auf den Schrauben befindlichen Ablesetrommeln sind in 100 Intervalle geteilt; es entspricht daher ein Intervall **0·005** *mm*; die Trommeln sind von 0 bis 100 numeriert, wobei der Hundertpunkt mit Null zusammenfällt.

Die Spaltbacken der feinen Vorrichtung stoßen nicht flächenförmig gegeneinander, sondern mit scharfen Schneiden. Um deren Beschädigung durch gewaltsames Schließen zu verhindern, sind sie „entlastet", d. h. so eingerichtet, daß in dem Moment, wo der Spalt sich schließt, die Schraube aufhört zu wirken und der Spaltschluß nur durch eine kleine Spiralfeder aufrecht erhalten wird. Außerdem ist durch

Fig. 6.



Spaltvorrichtung der Anomaloskope.

Anschläge, die an die Zeiger J_1 und J_2 stoßen, dafür gesorgt, daß G_1 und G_2 nicht mehr als eine Umdrehung machen können, daher der Spaltapparat außer durch große Gewalt nicht leicht beschädigt oder überdreht werden kann.

Vor den Spalten ist eine kleine Konvexlinse L (Taf. V, Fig. 1) so angebracht, daß die Strahlen für sämtliche drei Öffnungen von einem Punkte der Lichtquelle herrühren. Die Strahlenbüschel, welche durch diese Spalte auf das Prisma D fallen, erzeugen in der Ebene der Austrittspupille drei Spektren, ein einfaches und ein paariges. Infolge der Bildumkehrung liegt das einfache Spektrum nach unten, das Doppelspektrum nach oben; die Einzelbilder des letzteren sind um die Breite der Spaltkoppel P horizontal übereinandergeschoben.

Da die Lichter dieser in der Ebene des Okularloches über-

einanderstehenden Spektren durch die enge Öffnung nicht gleichzeitig austreten können, so ist, um dies zu ermöglichen, nahe am prismalen Ende des Okularrohres ein sogenanntes Zwillingsprisma Z eingeschaltet, das aus zwei spitzwinkeligen, mit ihren Basen zusammenstoßenden Prismen (aus einem Stücke geschliffen) besteht; die brechenden Kanten liegen horizontal. Vor dem Doppelprisma ist eine kreisförmige Blende B angebracht, welche das Gesichtsfeld kreisrund gestaltet und den Querschnitt des Strahlenkegels bestimmt. Der Durchmesser der Blende bei Modell I beträgt 6 *mm*, was einem Gesichtsfeldwinkel von $2^{0}\,10'$ entspricht.

Durch das Zwillingsprisma werden (zunächst ganz allgemein gesprochen) das einfache und das Doppelspektrum einander so zugebrochen, daß ein am Okularloch beobachtendes Auge die untere Hälfte des Zwillingsprismas mit dem homogenen gelben Lichte des oberen Spaltes, die obere Hälfte mit dem homogenen Rot oder Grün der unteren Spalte, respektive mit einer Mischung beider Lichter erleuchtet sieht. Beide Lichter stoßen an der horizontalen, stumpfwinkeligen Prismenkante scharf begrenzt aneinander, und bei gleicher Farbe und Helligkeit der beiden sich zum kreisrunden Bilde ergänzenden Gesichtsfeldhälften verschwindet die Trennungslinie fast vollständig.

Des näheren wird der Einfluß des Zwillingsprismas auf den Strahlengang im Apparate durch die schematische Fig. 2, Taf. V, in senkrechtem Längsschnitte veranschaulicht. Alle Strahlen, welche die obere Hälfte des Doppelprismas durchsetzen, werden (zur Basis) nach unten, diejenigen, welche die untere Hälfte desselben durchsetzen, nach oben abgelenkt. Da aber aus den Spalten Lichtbündel auf beide Prismenhälften fallen, so werden von jedem Spalte zwei Spektren entworfen, von denen das eine um einen gewissen Wert über dem anderen liegt. So liefern die drei Spalte sechs Spektren, zwei einfache und zwei einander deckende Paare; von diesen fallen jedoch nur ein einfaches und ein paariges in das Okularloch, und zwar das untere der einander deckenden Paare und das obere der einfachen Spektren; die drei anderen kommen außerhalb der Austrittspupille zu liegen und interessieren uns hier nicht weiter.

Ein aus der Mitte von S_1 kommendes Strahlenbündel, welches auf die Mitte der unteren Hälfte des Doppelprismas fällt, wird durch die Wirkung desselben nach der Mitte der Ausgangsöffnung A gebrochen und erzeugt dort ein einfaches Spektrum (in Fig. 2, Taf. V, gelb gezeichnet). Das gleiche gilt für die aus der Mitte von S_3 und S_2 kommenden Strahlenbüschel, welche auf die obere Hälfte des Zwillingsprismas fallen; sie werden ebenfalls nach A hin gebrochen und erzeugen dort das Doppelspektrum (in der gleichen Figur in Rot und Grün wiedergegeben). Dabei ist immer zu bedenken, daß das Dispersionsprisma D die Strahlenbündel bei A in der Richtung senkrecht

zur Papierebene zum Spektrum ausdehnt; in dem aufgestellten Apparate liegen die Spektren horizontal von links nach rechts; die Frauenhoferschen Linien stehen senkrecht zum Tische und parallel zu den Spalten.

Die Stellung von S_1 ist so gewählt, daß der Okularspalt aus seinem durch die untere Hälfte des Zwillingsprismas in die Austrittsöffnung fallenden Spektrum die Wellenlänge **589·3** $\mu\mu$ ausschneidet und das beobachtende Auge die untere Hälfte des Doppelprismas, i. e. des Gesichtsfeldes mit dem goldgelben Lichte dieser Wellenlänge gleichmäßig erleuchtet sieht. Die Spalte S_3 und S_2 sind so zueinander angeordnet daß der Okularspalt aus ihren durch die obere Hälfte des Zwillingsprismas einfallenden Spektren die Wellenlängen der Lithium-Linie (**670** $\mu\mu$) und der Thallium-Linie (**535** $\mu\mu$) ausschneidet, daher das vor die Austrittsöffnung gebrachte Auge die obere Hälfte des Zwillingsprismas mit homogenem Rot oder Grün, beziehungsweise wenn beide Spalte offen sind, mit einer Mischung beider Lichter gleichmäßig erfüllt sieht. In Wirklichkeit sind die beiden äußeren Lichter zur besseren Erzielung der Rayleigh-Gleichung etwas näher aneinandergerückt und die Wellenlängen betragen in der Anordnung, wie sie gegenwärtig von der Firma ausgeführt wird, etwa **665·6** $\mu\mu$ und **537·3** $\mu\mu$; sie werden durch zwei Linien im Funkenspektrum des Blei bestimmt. Wir wollen die Lichter dieser Wellenlänge als *Li* und *Tl* bezeichnen. Der Übersichtlichkeit wegen sind in den Fig. 1 und 2 auf Taf. V die aus der Lichtquelle austretenden Strahlen gleich von der Mattscheibe *M*, respektive den Spalten S_1, S_2 und S_3 ab in jenen Farben ausgeführt, in denen sie im Apparate zur Einstellung und Mischung gelangen, während sie in Wirklichkeit bis an das Prisma *D* heran als weiße Strahlen verlaufen und erst durch dessen Dispersion ihre Farbigkeit erhalten.

Der Natriumspalt läßt sich durch die (vom Beobachter) rechte obere Mikrometerschraube G_1 in seiner Weite beliebig verändern und so dieses Licht in seiner Intensität fein abstufen oder auch ganz verlöschen. Die linke untere Stellschraube G_2, welche die Spaltkoppel verschiebt, gestattet den einen Spalt zu vergrößern, den anderen zu verkleinern oder umgekehrt, d. h. es kann mehr rotes und entsprechend weniger grünes Licht, oder umgekehrt mehr grünes und entsprechend weniger rotes Licht zur Mischung gebracht werden. Auf der Trommel der gekoppelten Spalte ist das Verhältnis der Komponenten, auf der des einfachen Spaltes die Intensität des Natriumlichtes abzulesen; die auf die Skala weisenden Zeiger J_1 und J_2 sind in Fig. 6 (Seite 55) ersichtlich.

Für den Spalt S_1 (Natrium) entsprechen der größten nutzbaren Weite **87** Trommelintervalle; von **87** aufwärts wird die Trommel, respektive der Spalt nicht mehr benützt und von **88** an durch den Anschlag jede weitere Bewegung der Schraube G_1 sistiert. Bei Nullstellung ist der Spalt geschlossen, der Anschlag tritt bei **— 1** in Wirksamkeit. Zur Re-

gulierung der Intensität des Natriumlichtes stehen somit die Trommelintervalle von **1** bis **87** zur Verfügung; von — **1** bis **0** und von **87** bis **88** geht die Trommel leer.

Für die Spalte S_2 (Tl') und S_3 (Li') beträgt die größte nutzbare Weite **73** Trommelintervalle; auch für G_2 tritt der Anschlag bei — **1** und **88** in Wirksamkeit und der tote Gang der Schraube reicht von — **1** bis **0**, und von **73** bis **88**.

Die Summe der Weite der gekoppelten Spalte, beziehungsweise die Weite des ganz geöffneten einen Spaltes beträgt somit $73 \times 0{\cdot}005 = 0{\cdot}365\ mm$; die Breite des Natriumspaltes $87 \times 0{\cdot}005 = 0{\cdot}435\ mm$. Bei Nullstellung der Trommel G_2 ist S_3 (für Li') geschlossen, S_2 auf **73** Intervalle geöffnet, man sieht reines Grün; und umgekehrt, steht G_2 auf **73**, dann ist S_2 (für Tl') geschlossen und reines Rot eingestellt.

Die Zwischenstellungen der Schraube geben Mischungen des roten und grünen Lichtes; je niedriger die Zahl, um so größer der Grünanteil, je höher die Zahl, um so größer der Rotanteil. Zeigt die Ablesetrommel des gekoppelten Spaltes z. B. Intervall **4**, so ist der Grünspalt um **4** Teilstriche verkleinert, der Rotspalt um ebensoviel geöffnet; der Grünanteil der Mischung beträgt somit **69**, der Rotanteil **4**. Weist der Zeiger auf **70**, so sind vom Grünspalte nur mehr **3** Teilstriche offen, der Grünanteil der Mischung ist auf **3** reduziert, während der Rotanteil **70** beträgt. Bezeichnet man die auf der Trommel abgelesene Zahl der Intervalle mit J, so ergibt sich

$$\text{für } \frac{R}{Gr} = \frac{J}{73 - J}, \text{ respektive für } \frac{Gr}{R} = \frac{73 - J}{J}.$$

Stellt man die Schraube G_2 auf Null, so sieht man die obere Hälfte des Gesichtsfeldes mit homogenem Grün erfüllt; wird die Trommel aufwärts gedreht, so nimmt der Grünanteil allmählich ab, der Rotanteil in demselben Verhältnisse zu; das Grün blaßt immer mehr ab, wird zunächst grünlichgelb, dann reingelb, mit dem allmählichen Überwiegen des Rotanteiles in der Mischung orange, welches nach und nach in homogenes Rot übergeht. das bei **73** erreicht ist. Durch die Weiterdrehung der Trommel bis zur oberen Anschlagsstellung bei **88** wird die Beschaffenheit des Lichtes nicht mehr verändert. Für den praktischen Gebrauch sind die Anschläge sehr bequem, indem man z. B. reines Rot und reines Grün einfach mit den betreffenden Schlußstellungen einstellen kann, ohne daß man hinzusehen braucht.

Bei dem einfacheren Modell I ist das Mittelstück des Instrumentes in fester Verbindung sowohl mit dem Kollimator- als mit dem Okularrohr und der Prismenkörper ist für die D-Linie (Wellenlänge $589{\cdot}3\ \mu\mu$) geradsichtig hergestellt. An Stelle des Okularspaltes findet sich ein rundes Okularloch von **0·6** *mm* Durchmesser.

Das Modell II (Fig. 5, S. 53) ist etwas komplizierter gebaut und gestattet demgemäß die Benützung zu mehrerlei Zwecken. Der wesentliche Unterschied gegen Modell I liegt darin, daß das Okularrohr gegen das Prisma verstellbar ist, so daß die Wellenlänge der im Okularspalt austretenden Strahlen nicht ein für allemal dieselbe bleibt, wie bei Modell I, sondern man kann alle drei Lichter gleichzeitig im selben Sinne im Spektrum verschieben und so sämtliche Farben desselben sichtbar machen. Die Stellung der drei Spalte zueinander bleibt indessen unveränderlich; es ist demnach nicht möglich, in jedem beliebigen Teile des Spektrums Gleichungen zwischen einem bestimmten homogenen Lichte und einem beliebigen Binärgemische zu erhalten (denn dazu wäre es notwendig, daß die Spalte S_2 und S_3 unabhängig voneinander und von dem S_1-Spalte verschoben werden könnten), sondern man kann immer nur diejenigen Lichter, respektive Wellenlängen miteinander vergleichen und mischen, die in demselben linearen Abstande stehen, wie die *Li*- und *Tl*-Linie zur *D*-Linie, beziehungsweise wie die angeordneten Spaltstellungen es zulassen. Die Verschiebung des Beobachtungsfernrohres *F* gegen den Körper *D* geschieht in horizontaler Richtung um eine vertikale Achse mittels der Mikrometerschraube *M*, die mit Linealteilung und Ablesetrommel versehen ist, eine Einrichtung, die bei Modell I fehlt. Die Linealteilung reicht von 0 bis 60, und jeder Teilstrich derselben kann auf der graduierten Trommel noch auf 100 untergeteilt werden. Die Skala gibt nicht Wellenlängen an, sondern ist willkürlich graduiert und muß für die drei hauptsächlich in Betracht kommenden Lichter erst geaicht werden. Die *Li*-Linie (**665·6** $\mu\mu$) liegt bei etwa **21**, die *Na*-Linie (**589·3** $\mu\mu$) bei etwa **25**, die *Tl*-Linie (**537·3** $\mu\mu$) bei **29·4** der Skala.

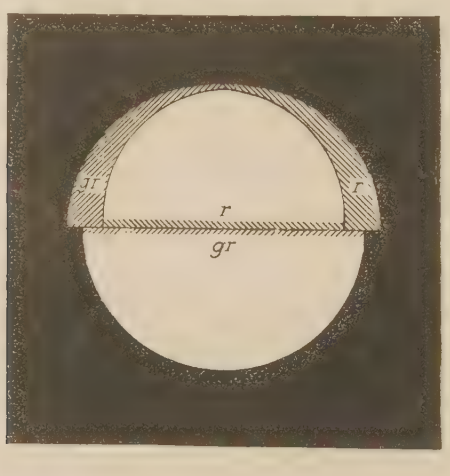
Bei Modell II ist die Prismenkombination *D* für die *F*-Linie (im Blaugrün, Wellenlänge **486·1**) geradsichtig hergestellt. Will man also dieses Modell in gleicher Weise wie Modell I zur Einstellung der Rayleigh-Gleichung benützen, so muß man der das Fernrohr bewegenden Mikrometerschraube eine derartige Stellung geben, daß der Trommelrand genau mit Intervall **25** der Linealteilung und der Nullstrich der Trommel mit dem horizontal aufgespannten Faden übereinstimmen.

An Stelle des Okularloches ist bei Modell II ein Okularspalt von **0·6** *mm* im Quadrat angebracht. Sehr wesentlich ist bei diesem Modell die Einschaltung eines horizontal beweglichen Schiebers mit drei Blendöffnungen zur Veränderung des Gesichtsfeldes, welche durch beiderseits vorstehende Handgriffe (*B* Fig. 5) beliebig gewechselt werden können. Ihre Durchmesser betragen **3·5**, **6** und **9** *mm*, die entsprechenden Gesichtsfeldwinkel **1° 15′**, **2° 10′** und **3° 12′**; wie man sieht, gleicht die mittlere Blende genau jener von Modell I. Die Möglichkeit, die

Gesichtsfeldwinkel der Farbenfelder dreifach wechseln zu können, ist namentlich bei der Untersuchung erworbener Farbensinnstörungen oft von entscheidender Bedeutung.

Modell I gestattet die Herstellung von Scheingleichungen zwischen Rot und Gelb, sowie Grün und Gelb und die Einstellung der Rayleigh-Gleichung durch beliebige Mischung von Rot und Grün zu Gelb. Die Beschränkung auf die drei fest gegebenen Lichter Rot, Grün und Gelb hatte für die Konstruktion dieses Modells den Vorteil, daß das Instrument nicht so teuer wurde, wie kompliziertere Farbenmischapparate, auch für den Ungeübten leichter zu handhaben ist und selbst durch Unkenntnis nicht leicht beschädigt werden kann.

Fig. 7.



Die bei Einstellung des gelben Mischlichtes im Falle nicht genau zentraler Betrachtung zu beiden Seiten der oberen Gesichtsfeldhälfte (in beiden Modellen) sichtbaren roten und grünen Sektoren (Fig. 7), sowie die gleiche Färbung der Halbierungslinie beruhen auf Dispersion des Fernrohrobjektivs O_2; sie verschwinden sofort bei genauer Zentrierung, auf die man deshalb immer sorgfältig zu achten hat. Die Firma ist eben mit Versuchen zur Beseitigung dieser Erscheinung beschäftigt. Die Donderssche Erklärung dafür[1]) (durch den Unterschied in der Richtung der roten und grünen Strahlen) kann für diese Apparate nicht in Betracht kommen.

Eine mannigfachere Verwendung ermöglicht das Modell II. Wählt man jene Lage des Fernrohres, die zur Einstellung der Rayleigh-Gleichung erforderlich ist (Lineal 25, Trommel 0) als Ausgangspunkt, so ergeben sich folgende Kombinationen.

[1]) Farbengleichungen, A. f. Physiolog. 1884, S. 519.

1. Hält man alle drei Spalte offen und verschiebt das Fernrohr, so lassen sich durch das ganze Spektrum hindurch pseudoisochromatische Gleichungen zwischen homogenen Lichtern und binären Gemischen herstellen, doch sind in der Mischung stets zwei Lichter zusammengekoppelt, da bei Veränderung des einen das andere sich mitverschiebt. Die Wellenlängendifferenz zwischen beiden Lichtern beträgt, wenn die untere Gesichtsfeldhälfte Rot von **700** $\mu\mu$ zeigt, etwa **90** $\mu\mu$, nimmt aber nach dem violetten Ende hin wegen zunehmender Zerstreuung allmählich ab und beträgt bei **500** $\mu\mu$ in der unteren Gesichtsfeldhälfte nur noch ungefähr **25** $\mu\mu$[1]).

2. Verschließt man (künstlich) den Doppelspalt, so kann man von Gelb aus (Linie *D*) das Spektrum nach beiden Seiten hin durchgehen.

3. und 4. Verdeckt man den Solitärspalt und einen der gekoppelten, so kann man das gleiche von Rot oder Grün aus besorgen.

5. und 6. Schließt man nur einen der Doppelspalte, so lassen sich oben und unten zwei homogene Lichter in Vergleich stellen. Die Differenz ihrer Wellenlängen ist durch den linearen Abstand der Spalte gegeben und je nach der Lage im Spektrum verschieden, da die Dispersion gegen das brechbarere Ende hin immer stärker wird.

7. Wird der Natriumspalt verdeckt, so kann man durch das ganze Spektrum hindurch je zwei Lichter mischen, deren Wellenlängen wiederum durch den Horizontalabstand der Spalten bestimmt sind und deren Längendifferenz davon abhängen wird, welche Farben der Okularspalt aus den über einander geschobenen Spektren eben ausschneidet.

Schematisch kann man die verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten etwa durch die Fig. 3, Taf. V, 1 bis 7 veranschaulichen. Die queren Bänder sollen Spektra vorstellen, die oberen Spaltbilder homogenes Rot von **665·6** $\mu\mu$ und gelbliches Grün von **537·3** $\mu\mu$, das untere homogenes Gelb von **589·3** $\mu\mu$ — mit einem Worte jene Lage des Okularrohres zu den Spalten repräsentieren, die wir zur Einstellung der Rayleigh-Gleichung benötigen[2]). Vor den feststehenden Spalten kann man das Beobachtungsfernrohr nach beiden Seiten hin bewegen und erhält so rein oder als binäres Gemisch, bis an die Grenzen des sichtbaren Spektrums jene Lichter, die bei der jeweiligen Lage des Fernrohres durch seinen Okularspalt aus den einzelnen Spektren herausgeschnitten werden. Die bei den einzelnen Kombinationen eingezeichneten farbigen Spaltbilder sollen die offenen Spalte anzeigen, die anderen sind geschlossen zu denken. Gelb repräsentiert dabei den oberen Solitärspalt S_1, Grün den rechten unteren S_2, Rot den linken unteren

[1]) Köllner, Die Störungen des Farbensinnes, S. 382.

[2]) Man erhält das Bild etwa (nur rechts und links vertauscht), wenn man von der Spaltvorrichtung her (also umgekehrt) auf den Apparat blickt und die in der Luft schwebenden Spaltbilder mit der Lupe betrachtet.

Spalt S_3 des gekoppelten Paares, vom Beobachter aus gesehen. Die angegebenen Wellenlängendifferenzen treffen selbstverständlich nur für die als Ausgangspunkt angenommene Einstellung zur Rayleigh-Gleichung zu und wechseln je nach der Richtung, in welcher (angedeutet durch die Pfeile) das Fernrohr nach der langwelligen (weniger brechbaren) oder kurzwelligen (stärker brechbaren) Seite hin verschoben wird.

Denkt man sich das Stück P (Taf. V, Fig. 3, *1*) der Spaltkoppel P in Fig. 1 der gleichen Tafel entsprechend, so ist ohne weiteres ersichtlich, daß bei Verschiebung desselben in der Richtung des gefiederten Pfeiles der Mischung mehr längerwelliges, bei Verschiebung in der Richtung des einfachen Pfeiles mehr kürzerwelliges Licht zugesetzt wird, beziehungsweise daß sich die gekoppelten Spalte stets gegen Orange hin erweitern. Bei dem Solitärspalte ist die Backe p in der Richtung des Pfeiles mit Doppelspitze beweglich, so daß seine Erweiterung nach der längerwelligen Seite hin erfolgt und bei ganz geöffnetem Spalte schon etwas vom Orange mit hineinfällt[1]).

Die neutralen Stellen im Spektrum des Dichromaten (bei Protanopen und Deuteranopen im Blaugrün, bei Tritanopen im Gelbgrün) lassen sich in verschiedenen Kombinationen leicht demonstrieren; speziell Deuteranopen können die Gleichung zwischen dem für sie farblosen (für den Trichromaten etwas bläulichen) Gemisch aus Grün und Blau und einem homogenen Blaugrün (die sogenannte Neutralengleichung) einstellen (Kombination 1). Auch die Verkürzungen an beiden Enden sind leicht zu erweisen, indem man angeben läßt, wann die Farbigkeit am roten oder violetten Ende verschwindet. Das Benennenlassen der Farben in der langwelligen Spektralhälfte durch die Dichromaten bietet interessante Aufschlüsse zu den darüber bestehenden theoretischen Anschauungen. Die Unsicherheit der Anomalen in der Gegend des Gelbgrün läßt sich leicht ersichtlich machen und bei den extremen Formen (aber auch in den einfachen Fällen gar nicht selten) im Grün direkt eine neutrale (farblose) Stelle nachweisen. Einzelne Farbentüchtige können als Mischlicht ein fast reines Weiß einstellen (Kombination 7). Die Gleichung Blaugrün + Indigo = Cyanblau gestattet bei abwechselnd zentraler und peripherer Betrachtung die Lichtabsorption im gelben Flecke zu demonstrieren usw. Wenngleich also die Einstellungsmöglichkeiten durch die Koppelung der Spalte beschränkt sind, so gestattet das Modell II doch mehrfach so interessante und für das Verständnis der Farbensinnstörungen wesentliche Ermittlungen und Demonstrationen, daß man immer darnach greifen sollte, wenn die Mittel zur Anschaffung nicht gar zu knapp bemessen sind.

[1]) In Fig. 1, Taf. V, ist für den Solitärspalt die entgegengesetzte Backe als beweglich dargestellt, um das an und für sich schon komplizierte Schema nicht noch unübersichtlicher zu gestalten.

Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß bei den Einstellungen stets nur an den gerifften Knöpfen G_1 und G_2 angefaßt werden darf, niemals an den Trommeln selbst. Das Bewegen durch Anfassen der Trommel würde bei gewaltsamer Drehung ein Verstellen des Anschlages, eventuell auch der Trommel zur Schraube und damit eine Verschiebung der Skala bewirken können; das gleiche kann naturgemäß auch durch gewaltsames Überdrehen an den Knöpfen eintreten.

Um derartige immerhin mögliche, sehr unliebsame Verschiebungen der Skala nicht zu übersehen, ist es angebracht, von Zeit zu Zeit eine Kontrolle der Nullpunkte vorzunehmen, was zweckmäßig in der Weise geschieht, daß man den Spalt S_2 durch Vorschalten eines undurchsichtigen Schirmes (Karton od. dgl.) dauernd verdeckt, beide Trommeln über den Nullpunkt hinweg bis zum Anschlag bei — 1 dreht und nun durch vorsichtiges langsames Öffnen der Spalte genau feststellt, wann die erste, geringste Spur von Licht im Gesichtsfelde bemerkbar wird. Die Einstellungen müssen mehrfach wiederholt werden, und sollen im Augenblicke des Auftretens auch nur des leisesten Lichtscheines stets Nullstellung der Skala ergeben, wobei Abweichungen bis zu einem halben Intervalle zulässig sind. Selbstverständlich müssen die Feststellungen im verdunkelten Raume und bei dunkel adaptiertem Auge vorgenommen werden.

Weiter sei bemerkt, daß die Temperatur einen nicht unbeträchtlichen Einfluß auf die Lage der Linien im Spektrum hat. Geaicht werden die Instrumente bei 20° C; eine Differenz von mehreren Graden kann den Brechungsindex des Prismas derart beeinflussen, daß eine deutliche Verschiebung der Linien eintritt. Die Untersuchungen sollen also in einem warmen Raume vorgenommen werden, dessen Temperatur sich nicht allzuweit von jener entfernt, bei welcher die Prüfung des Instrumentes vorgenommen wurde.

Vor der Berührung durch Unberufene sind die Apparate auf das sorgfältigste zu bewahren und ebenso muß man bei Selbsteinstellungen genauestens kontrollieren und Halt gebieten, sobald die Nähe des Anschlages erreicht ist, da man die Kraft, mit der die Schraube gedreht wird, nicht abschätzen kann und auch die strikteste Aufforderung zu zarter Handhabung nicht immer befolgt wird. Es empfiehlt sich, die Apparate unter Verschluß aufzubewahren und das Messingrohr sorgfältig zu umhüllen.

Sehr wichtig ist es, bei Benützung der Instrumente auf größte Reinheit aller Prismen, überhaupt aller im Strahlengang befindlichen Glasflächen zu sehen[1]). Wenn diese verstauben oder, was bei Verunreinigung der Luft mit Säure- etc. Dämpfen leicht geschieht, mit einem feinen Hauche beschlagen, so wird dadurch die Reinheit

[1]) Nagel, in Tigerstedts Handbuch, S. 55.

der Lichter stark beeinträchtigt. Da die reellen Spektren in der Ebene des Okularspaltes entworfen werden, somit alle Lichtarten die Optik des Apparates durchsetzen, so lassen Unreinheiten der Glasflächen leicht gemischtes Licht im Apparate diffundieren und vom Okularloche aus gesehen, legt sich Weiß auf die Farbenfelder, wodurch ihre Sättigung vermindert wird. Noch störender sind umschriebene Flecke auf dem Glase, die je nach ihrer Lage als schwarze oder farbige Flecke im Gesichtsfelde sichtbar werden.

Man muß daher die Instrumente vor jedem überflüssigen Luftzutritte, der Staub und Dämpfe mit sich bringen kann, sorgfältig schützen, was am zweckmäßigsten durch vorsichtiges Überstülpen und Andrücken von Staniolplättchen sowohl über die Spalte, als über das Okularloch geschieht; in solcher Weise geschützt werden die Instrumente auch von der Firma geliefert.

Die Lichtquelle muß 18 *cm* von den Spalten entfernt aufgestellt und möglichst hell sein. Die Glühkörper werden in schwarze, zylindrische Blechgehäuse eingeschlossen, die an ihrer den Spalten zugekehrten Seite eine etwa 2 *cm* im Durchmesser haltende kreisrunde Öffnung für den Austritt des Lichtes tragen, vor welcher eine fein mattierte Glasplatte angebracht ist (Taf. V, Fig. 1, *M*); bei elektrischen Glühlampen steht sie etwa 8 *cm* vor deren Faden, bei Auerbrennern ist sie möglichst nahe an den Zylinder herangebracht; diese Mattscheibe stellt die eigentliche Lichtquelle dar. Der Absorptionswert des Mattglases vermindert sich bedeutend, wenn es naß oder fettig wird, und steigt, wenn es verstaubt und beim Abwischen die Staubteilchen in den Unebenheiten der matten Seite festgedrückt werden; der Verdunkelungswert einer Mattscheibe darf also nicht ohne weiteres als eine Konstante betrachtet werden.

Über die Verwendbarkeit der einzelnen Lichtquellen für den speziellen Zweck (je nach ihrer spektralen Zusammensetzung usw.) sei an folgendes erinnert[1]). Die elektrischen Glühlampen weisen alle einen relativ starken Gehalt an roten Strahlen auf; sie erfordern demgemäß kleinere Weiten für den Rotspalt, größere für den Grünspalt. Neu lassen sie stets schnell an Helligkeit nach, aber nach etwa 30 Brennstunden erfolgt die Änderung nur mehr so langsam, daß sie für unsere Zwecke außer Betracht bleiben kann. Die Abnahme der Helligkeit erfolgt bei den verschiedenen Systemen und selbst bei den Lampen der gleichen Sorte ungleich schnell, weshalb allgemeine Angaben keinen Wert haben. Bedeutende Vorzüge (nicht nur in ökonomischer Hinsicht) bieten die Metallfaden-Glühlampen, deren Licht weißer ist, als das der Kohlenfaden, und viel weniger nachläßt.

[1]) Nagel, in Tigerstedts Handbuch, S. 3 und ff. Vielfach wörtlich wiedergegeben.

Nicht unbeträchtlich ändert sich die Lichtqualität mit der Stromspannung; nimmt diese ab, so brennen die Lampen röter, und es muß demnach in der Rayleigh-Gleichung der Grünanteil der Mischung erhöht werden, um Gleichung mit Natriumgelb zu bewahren. Nach Untersuchungen aus dem v. Kriesschen Institute[1]) ändert sich das Energieverhältnis von Rot: Grün bei Abnahme der Stromspannung von 220 auf 190 Volt bei der Nernstlampe um 10·9%, bei der Kohlenfadenlampe um 15·8%.

Auch die Brenndauer kommt sehr wesentlich in Betracht. Nagel hat durch Henius die gebräuchlichen Lichtquellen daraufhin mit dem Anomaloskope untersuchen lassen. Das Verhältnis der Rotmenge zur Grünmenge in der Rayleigh-Gleichung war bei Gasglühlicht neu 3·19, und nach elfstündiger Brenndauer noch immer dasselbe; der Auerbrenner zeichnet sich demnach in dieser Hinsicht durch besondere Konstanz aus. Dagegen zeigte die Nernstlampe große Veränderlichkeit; anfangs steigt der Quotient stark an, um schon in der elften Stunde wieder zu sinken. Bekannt ist, daß Metallfadenglühlampen Erschütterungen und Stöße, namentlich während des Brennens, schlechter vertragen als die Kohlenfadenlampen.

Das Gasglühlicht mit seinem Reichtum an grünen, blauen und violetten Strahlen erfordert größere Spaltweite für das rote, kleinere für das grüne Licht. Ein Nachteil des Gasglühlichtes liegt (abgesehen von der Empfindlichkeit des Glühkörpers gegen Erschütterung) in der Inkonstanz, die sich bei Gasdruckschwankungen geltend macht, aber auch ohne solche bemerklich wird, sobald Zugluft die Flamme bewegt, der Glühkörper etwas lose sitzt und das Verhältnis zwischen Gas und Luftzufuhr nicht ganz genau richtig ist. Namentlich letzterer Umstand ist oft eine Quelle von Fehlern, weil mit wechselndem Gasdrucke die Luftzufuhr eigentlich geändert werden müßte. Am besten wird beides geregelt, wenn man sich an dem Auerbrenner eine Regulierdüse für die Gaszufuhr und einen Luftregulierring anbringen läßt, mit deren Hilfe man beides leicht zu einem bestimmten Optimum der Lichtstärke zusammenstimmen kann[2]). Außerdem zieht sich der Glühstrumpf allmählich zusammen und die einzelnen Glühkörper sind ziemlich ungleich in der Qualität des ausgestrahlten Lichtes.

Das Spiritusglühlicht ist von einer großen Anzahl dieser Fehler frei, besitzt aber die Vorteile des Auerlichtes. Auch hier ist zu

[1]) Boehm, Marie, Über physiologische Methoden zur Prüfung der Zusammensetzung gemischten Lichtes, Zeitschr. für Sinnesphysiologie 42, 1907.
R. Golant, Über das Licht der Nernstlampen und seine Verwendung zu physiologisch-optischen Zwecken, ebenda, 43, 1908.

[2]) Das Nähere aus jedem Auer-Katalog zu entnehmen. An der Lampe in Fig. 4, S. 53, ist die Vorrichtung ersichtlich.

bemerken, daß beim Aufsetzen eines neuen Glühkörpers sich die Zusammensetzung des Lichtes beträchtlich ändern kann.

Nach den bisherigen Erfahrungen hat sich die Verwendung von Auerlicht (Gas- oder Spiritusglühlicht) bestens bewährt.

Bei Bestellungen muß die Lichtart, die zur Verwendung kommen soll, angegeben werden, und es empfiehlt sich unbedingt, den Apparat gleich mit der Lampe, auf einem Grundbrett montiert, zu beziehen. (Siehe Fig. 4, S. 53.)

Bei etwa erforderlichen Reparaturen genügt es, das Rohrstück einzusenden, zu welchem Zwecke man dasselbe von dem Fuße abschraubt, wobei jedoch nur das Mittelstück angefaßt werden darf. Bei der Aufmontierung ist dann sorgfältig darauf zu achten, daß Fernrohr und Flamme genau in einer Linie stehen.

Aus der Beschreibung des Instrumentes ergeben sich folgende Regeln für seine Aufbewahrung und Benützung.

Das Anomaloskop ist verläßlich vor jeder Berührung durch Unberufene zu schützen. Überflüssiger Luftzutritt, Staub, schädliche Dämpfe sind durch sorgfältiges Umhüllen des Rohres außerhalb der Gebrauchszeit abzuhalten.

Die Untersuchung soll im unverdunkelten, warmen Zimmer stattfinden.

Gas- und Luftzufuhr am Auerbrenner müssen genau reguliert und konstant erhalten werden. Der Glühstrumpf soll von tadelloser Beschaffenheit sein. Die Mattglasscheibe der Lampe ist (je nach Bedarf) durch Waschen mit Wasser und Seife, Benzin oder Äther von jeder Verunreinigung frei zu halten.

Die Einstellung darf nur an den gerifften Knöpfen und nicht durch direktes Anfassen der Trommeln vorgenommen werden. Jede Überdrehung ist sorgfältigst zu vermeiden.

Der Beobachter soll sein Auge möglichst nahe an das Okularloch heranbringen und genau durch seine Mitte hineinblicken, sonst stören die farbigen Ränder der oberen Feldhälfte und der Trennungslinie.

Brillen sind während der Untersuchung abzulegen. Nur Presbyopen stellen mit ihrem Sammelglase leichter und genauer ein.

III. Praktische Diagnostik und Anweisung zum Gebrauche des Anomaloskops.

Wir werden in diesem Rahmen folgende Arten von angeborener Farbensinnstörung zu besprechen haben:

A. **Das dichromatische Sehen, die Dichromatopie.**

Das System zerfällt in zwei Unterformen:

a) **Protanopie**
b) **Deuteranopie.**

Die Protanopie wird auch als Rotblindheit, die Deuteranopie als Grünblindheit bezeichnet; Protanopen und Deuteranopen zusammen bilden die Gruppe der Rotgrünblinden.

B. **Das trichromatische Sehen, die Trichromatopie.**

Hier unterscheiden wir zwei Systeme:

1. **Die normale Trichromatopie,** den regulären normalen Farbensinn.

2. **Die typische anomale Trichromatopie** mit den zwei Unterformen der

a) **Protanomalie** und
b) **Deuteranomalie.**

Auch die Bezeichnungen Rotanomalie und Grünanomalie sind vielfach üblich.

Von der äußerst seltenen angeborenen Tritanopie (Violettblindheit), der überhaupt noch nicht sicheren Tritanomalie, sowie der totalen Farbenblindheit sehen wir hier ab.

Die Benützung des Anomaloskops zur Feststellung der Beschaffenheit des Farbensinnes beruht auf dem Prinzipe der optischen Gleichungen.

Homogenes Licht von einer bestimmten Wellenlänge ruft eine bestimmte Farbenempfindung hervor, so z. B. ein Licht von **589** $\mu\mu$ die eines rötlichen Gelb; der Reizerfolg ändert sich stetig mit

der Wellenlänge. Es sei daran erinnert, daß der Farbenton keine spezifische Eigenschaft des Lichtes, sondern ein psychologisches Phänomen ist, das unter normalen Verhältnissen allerdings durch die Einwirkung eines bestimmten homogenen Lichtes auf das Sehorgan veranlaßt wird. Man sollte demnach die einzelnen Lichter immer nur nach ihrer Wellenlänge bezeichnen, und wenn wir der Kürze halber von spektralem Rot und Grün sprechen, so geschieht dies hauptsächlich deshalb, weil nicht jedermann weiß, was er sich unter Lichtern von den Wellenlängen **670** und **535** $\mu\mu$ vorstellen soll; es ist aber gut, sich bewußt zu bleiben, daß wir bei dieser Übung gewissermaßen Ursache und Wirkung verwechseln[1]).

Doch werden die einzelnen Farbenempfindungen keineswegs nur durch homogene Lichter hervorgerufen, sondern man kann die gleichen Empfindungen auch durch Lichtgemische auslösen. Dafür gelten bestimmte Gesetze. Mischen wir z. B. zwei langwellige Lichter, deren Wellenlängen sich nur um geringe Beträge unterscheiden, so erscheint das Gemisch einem reinen Lichte irgend einer mittleren Wellenlänge vollkommen gleich. Welche das ist, hängt von dem Mengenverhältnisse der Mischlichter ab; je mehr der längerwellige Bestandteil überwiegt, um so größer wird die Wellenlänge des gleich erscheinenden homogenen Lichtes und umgekehrt. So kann man die **589** $\mu\mu$ entsprechende Empfindung von Rötlichgelb nicht nur durch Natriumlicht hervorrufen, sondern ebenso durch Mischung eines bestimmten Rot und Grün, und es ist dem Auge ganz unmöglich, zu unterscheiden, welches Gelb von einem homogenen Lichte und welches von einer Rot-Grünmischung herrührt. Es können so zwei ganz verschiedene Lichtreize (ein einfaches und ein zusammengesetztes Licht) die gleiche Empfindung hervorrufen, und die Nebeneinanderstellung derartiger qualitativ verschiedenen Lichtreize, welche die gleiche Farbenempfindung erzeugen, nennt man eine **optische Gleichung.** Sie bildet eines der wichtigsten Untersuchungsmittel des Farbensinnes, weil man dabei von der Farbenbenennung unabhängig wird und der Beobachter nur anzugeben hat, ob zwei Lichter die gleiche Farbenempfindung auslösen oder nicht.

Das Anomaloskop ermöglicht die Herstellung von Gleichungen zwischen zwei homogenen Lichtern und solchen zwischen einem homogenen Licht und einem binären Gemische.

Für das normale Auge sind Gleichungen zwischen homogenen Lichtern nur innerhalb der beiden Endstrecken möglich, da hier der Reizeffekt derselbe bleibt und die Lichter sich nur durch verschiedene Helligkeit unterscheiden. Betrachtet man z. B. zwei Felder, welche

---

[1]) Köllner, Die Störungen des Farbensinnes, S. 9.

durch Licht von **700** und **760** $\mu\mu$ erleuchtet werden, so kann man (an den großen Mischapparaten) die Intensität des einen so lange verändern, bis beide die genau gleiche Empfindung von Rot hervorrufen. Bei Lichtern der Zwischen- und Mittelstrecke ist dies nicht mehr möglich, da sich in diesen Regionen mit der Wellenlänge auch der Farbenton ändert. Am Anomaloskope sind derartige Einstellungen überhaupt nicht vorgesehen, weil sie kein wesentliches diagnostisches Interesse hätten.

Anders verhält es sich bekanntlich bei den Dichromaten, die infolge Verlängerung der langwelligen Endstrecke Gleichungen zwischen den Lichtern der warmen Spektralhälfte erhalten. Da sich auch die Farbenverwechslungen der Anomalen hauptsächlich in diesem Gebiete abspielen, konnte das Modell I des Anomaloskops für praktisch diagnostische Zwecke auf die drei fest gegebenen Lichter Rot, Gelb und Grün beschränkt werden, indem gerade diese Kombination unseren diagnostischen Bedürfnissen nach allen Richtungen am meisten entspricht. Die Vorteile, welche in technischer Beziehung daraus erwachsen, wurden oben bereits hervorgehoben. (Siehe S. 60.)

Zur Erkennung der Dichromaten reichen wir mit der Gegenüberstellung von je zwei der genannten homogenen Lichter vollkommen aus, indem wir einfach prüfen, inwieweit zwischen Rot oder Grün einerseits und Gelb anderseits Scheingleichungen zu erzielen sind.

Erfüllen wir weiterhin die eine Feldhälfte mit Natriumgelb, die andere mit einer Mischung aus Lithiumrot und Thalliumgrün, so können wir das binäre Gemisch dem homogenen Lichte in Farbenton, Sättigung und Helligkeit so gut wie vollkommen gleich aussehend machen, und zwar ist eine Gleichung in jedem Falle zu erzielen. Der Quotient des Rotgrüngemisches gestattet uns dann, den normalen Farbensinn von dem anomalen zu unterscheiden. Die Gleichung $Li - Tl = Na$ hat dadurch ihre besondere diagnostische Bedeutung erlangt und wird nach ihrem Entdecker als die Rayleighsche bezeichnet.

Mit der Unterscheidung dieser drei Systeme ist unseren praktischen Bedürfnissen im wesentlichen Genüge geleistet. Die weiteren Kombinationen, welche das Modell II ermöglicht, wurden bereits bei seiner Beschreibung angeführt.

A. Erkennung der Dichromaten.

Im allgemeinen stehen uns am Anomaloskope für diese Diagnose folgende Hilfsmittel zur Verfügung.

An Modell I und II.

1. **Die Gleichung zwischen homogenem Rot und Gelb.**
2. **Die Gleichung zwischen homogenem Grün und Gelb.**

Nur an Modell II.

3. Die Feststellung der vollständigen Unbestimmtheit der Farbenempfindung in der langwelligen Spektralhälfte.

4. Die Ermittlung der neutralen Stelle im Blaugrün.

5. Der Nachweis der Verkürzung am langwelligen Spektralende der Protanopen.

1 a. Die Rot: Gelb-Gleichung der Protanopen.

Man erleuchtet die obere Gesichtsfeldhälfte mit reinem *Li*-Rot[1]), indem man die linke untere, den Doppelspalt regulierende Stellschraube auf **73** der Skala stellt oder, was bequemer ist, gleich bis zum Anschlage bei 88. Der Effekt bleibt derselbe, weil die Schraube über den Teilstrich **73** hinaus nicht mehr wirkt.

Der Reizwert des roten Lichtes ist für den Protanopen **4** bis **5**mal geringer als für den Deuteranopen, daher der Protanop in dieser Gleichung ein etwa **5**mal so dunkles Gelb verlangt als der Deuteranop. Der Unterschied ist ein sehr auffallender und diese Gleichung für die Differentialdiagnose der zwei Formen von Rotgrünblindheit in erster Linie maßgebend. (Siehe S. 13.)

Nagel[2]) hat für die Stellung des Natriumspaltes bei dieser Gleichung im Jahre 1910 die Zahlen **3** bis **5** angegeben. In Köllners[3]) Anleitung 1913 findet man die gleichen Zahlen.

Meine eigene Erfahrung umfaßt **80** Fälle von Protanopie. Zur Rot:Gelb-Gleichung wurden folgende Natriumspaltweiten verlangt.

Anzahl der Fälle	Weite des Natriumspaltes
53	3
9	3·5
13	4
2	4·5
3	5
80	

Auf die Spaltweite von **3** entfallen somit **69**% der Fälle; **31**% auf jene von **3·5** bis **5**. Wie man sieht, bewegen sich die Zahlen hier in sehr engen Grenzen, und man muß bei der Einstellung recht vorsichtig zu Werke gehen, sonst übersieht man die Gleichung sehr leicht. Es ist dies die einzige Einstellung, bei der man mit Bruchteilen eines Teilstriches zu rechnen hat.

Als Mittelwert für die Intensität des gelben Vergleichslichtes in der Rot:Gelb-Gleichung der Protanopen möchte ich

[1]) Tatsächlich ist es ein Licht von der Wellenlänge etwa 665·6 $\mu\mu$. (Siehe S. 57.)

[2]) Zwei Apparate usw.

[3]) Zeitschr. f. Bahn- und Bahnkassenärzte 1913, S. 144.

daher die Zahl 3 der Trommelteilung annehmen. Sollte sie nicht stimmen, so wird man, von ihr aufwärts gehend, die Gleichung bald finden; weitere Verdunkelung kommt nicht in Betracht, weil das Halbfeld dann ganz schwarz aussieht. Die Spaltweiten reichen bis 5.

1 b. Die Rot: Gelb-Gleichung der Deuteranopen.

Der Deuteranop verlangt für diese Gleichung ein etwa 5mal helleres Gelb, als der Protanop. Bei Nagel finden wir für die Stellung des Natriumspaltes die Zahlen von **10** bis **12**; in Köllners Anleitung jene von **10** bis **14**.

Ich selbst habe **140** Fälle von Deuteranopie untersucht. Zur genannten Gleichung wurden folgende Gelbintensitäten verlangt.

Anzahl der Fälle	Weite des Natriumspaltes
1	8
7	9
89	10
18	11
19	12
5	13
1	10 bis 3
140	

Am häufigsten treffen somit die Einstellungen von **10**, und in weiten Abständen davon jene von **11** und **12** zu; es sind dies insgesamt **126** Fälle = **90%**; davon entfallen auf die Spaltweite von **10** allein **63%**. In einem Falle wurde beträchtliche Verdunkelung des Gelb, bis zur Protanopen-Gleichung herab, vertragen.

Im Mittel verlangen die Deuteranopen in der Rot:Gelb-Gleichung somit eine Helligkeit des Gelb von der Spaltweite **10**; sonst findet man noch häufiger Einstellungen von **11**, **12**, **13** und **9**; andere Zahlen nur vereinzelt.

2 a. Die Grün: Gelb-Gleichung der Protanopen.

Man stellt die linke untere Schraube für den Doppelspalt zum Anschlage bei — 1; das obere Halbfeld ist dann mit reinem *Tl*-Grün[1]) erleuchtet.

Der Reizwert des grünen Lichtes ist für den Protanopen etwa doppelt so groß, als für den Deuteranopen, und die für diese Gleichung geforderten Helligkeiten des gelben Lichtes verhalten sich in diesen Fällen wie 2 : 1[2]). Die Differenzen sind also

[1]) Tatsächlich ist es ein Licht von 537·3 $\mu\mu$ Wellenlänge.

[2]) Siehe S. 14.

wesentlich geringer als in der Rot: Gelb-Gleichung und fallen außerdem deshalb noch weniger in die Augen, weil wir uns hier in einer Helligkeit des Gelb bewegen, wo die Unterschiede nicht mehr so sinnfällig sind.

Hier gibt Nagel für die Stellung des Natriumspaltes die Zahl von zirka **80** an; Köllner **70** bis **90**.

In meinen **80** Fällen von Protanopie wurden folgende Natriumspaltweiten verlangt.

Anzahl der Fälle	Weite des Natriumspaltes
46	50
30	46 bis 58 (außer 50)
1	34
1	39
1	70 bis 75
1	80
80	

59% der Fälle erhielten somit Gleichung bei einer Spaltweite von **50**, aber auch bei den **30** Fällen des zweiten Ansatzes lagen die Einstellungen fast durchwegs um **2** bis **3** Teilstriche von **50** auf und ab und nur ganz vereinzelt weiter weg. Wir können daher beide Ansätze zusammenfassen und erhalten so für die Einstellungen um **50** herum die Zahl von **96**%. In neun von den erstgenannten **46** Fällen wurden auch andere Einstellungen angenommen, die bis an **20** Teilstriche auseinanderlagen und sich zwischen **30** und **70** der Skala bewegten; es waren dies Fälle, welche auch die Grün: Gelb-Gleichung der Deuteranopen anerkannten.

Ich möchte daher als Durchschnitt für die Spaltweite des Natriumlichtes in der Grün: Gelb-Gleichung der Protanopen die Zahl von **50** annehmen; auch die Mehrzahl der abweichenden Fälle gruppiert sich eng um diese Mittelzahl.

2 b. Die Grün: Gelb-Gleichung der Deuteranopen.

Nagel gibt hier die Spaltweite des Gelb mit **30** bis **40** an; ebenso Köllner.

In meinen **140** Fällen von Deuteranopie wurden folgende Natriumspaltweiten verlangt.

Anzahl der Fälle	Weite des Natriumspaltes
88	35
26	35 und 50
26	33 bis 53 (außer 35)
140	

88 + 26 = 114 Fälle, i. e. **81%**, stellten somit die Natriumspaltweite von **35** als Gleichung ein, und zwar **63%** nur **35**, während **19%** auch weitere Aufhellungen bis zur Protanopen-Gleichung anerkannten. Die Gleichungen der weiteren **26** Fälle, d. i. **18%**, lagen zwischen **33** und **40**, nur **4** über **40** und **1** über **50**.

Als Mittelwert für die Spaltweite des Gelb in der Grün: Gelb-Gleichung der Deuteranopen läßt sich daher die Zahl **35** vertreten, als Grenzwerte **33** bis **50**. In einer nicht geringen Anzahl von Fällen wird auch die betreffende Protanopen-Gleichung angenommen.

3. Weitere sehr bezeichnende und lehrreiche Anhaltspunkte für die Diagnose gewinnt man mit Modell II, an welchem der Okularspalt das ganze Spektrum entlang geführt werden kann. Man überzeugt sich dabei, daß die Lichter der langwelligen Spektralhälfte bei der Einzelbetrachtung keineswegs immer nur gelb genannt, sondern sehr häufig auch die Bezeichnungen rot und grün (meist objektiv unrichtig) angewendet werden. Von den Protanopen wird häufig auch das leuchtende spektrale Rot nicht erkannt, sondern sie sprechen nur von dunkel oder dunkelgelb, oft direkt von grün; Gelb wird verschieden benannt, Grün nicht selten als rot bezeichnet. Die Deuteranopen dagegen erkennen das Rot meist richtig, vermögen aber Gelb und Grün in keiner Weise auseinander zu halten; beide Lichter werden häufig weiß genannt. Bestimmt und nahezu immer an derselben Stelle wird der Umschlag der warmen in die kalte Farbe (Blau) angegeben, und diese Bezeichnung dann meist durch die ganze brechbarere Hälfte des Spektrums festgehalten; Violett wird meist nicht erkannt.

4. Im bläulichen Grün hört für beide Formen meist jede Farbigkeit auf, und die Beobachter sprechen nur mehr von grauweiß oder farblos; es ist die bekannte neutrale Strecke, in welcher die warme und kalte Farbe mit abnehmender Sättigung aneinander stoßen. Verschließt man (wieder an Modell II) den Doppelspalt durch einen übergehängten Karton und läßt die neutrale Stelle mit dem Solitärspalte einstellen, was durch Einengung von beiden Seiten meist leicht gelingt, dann steht der wieder geöffnete Doppelspalt für das Mischlicht auf Gelbgrün und Violett, wie sich durch Verdeckung eines der gekoppelten Spalte nach dem anderen ohne weiteres erkennen läßt. Durch Drehen der unteren Stellschraube kann man nun auch im oberen Felde ein gemischtes Blaugrün einstellen, welches dem als weiß bezeichneten homogenen Lichte der unteren Feldhälfte etwa gleich aussieht; die Dichromaten sehen dann die ganze Scheibe grau, farblos.

5. Zum Nachweise der Verkürzung des Spektrums bei Protanopen schließt man (ebenfalls an Modell II) z. B. den Natriumspalt und stellt oben reines Rot geringerer Wellenlänge ein. Nun verschiebt man den Okularspalt gegen das langwellige Ende hin und läßt an-

geben, sobald jede Farbenempfindung aufhört und die Halbscheibe nur mehr dunkel, schwarz aussieht; der Normale wird dann das Feld noch immer in dunklem Rot leuchten sehen, und die Farbigkeit verschwindet für ihn viel später. Auch am violetten Ende läßt sich die Verkürzung in der Regel nachweisen.

Am leichtesten ist die Diagnose der Deuteranopie zu stellen. Die Rot:Gelb-Gleichungen sind hier nahezu immer bestimmt und eindeutig, und auch die Ergebnisse der anderen Methoden pflegen damit sehr gut übereinzustimmen.

Komplizierter liegen die Verhältnisse meist bei den Protanopen. Die Farbenverwechslungen sind hier mannigfaltiger, scheinbar regelloser, und auch die Resultate der sonst gebräuchlichen Verfahren sind nicht immer leicht mit dem spektralen Verhalten in Einklang zu bringen. Ebenso ist die Unterscheidung von den Protanomalen extremer Form nicht immer so ohne weiteres durchzuführen.

Die Rayleigh-Gleichung der Normalen wird von allen Rotgrünblinden anerkannt, da wir ja in der Dichromasie nur eine Reduktionsform des normalen Systems zu erblicken haben. Unter 220 Dichromaten finde ich einen einzigen Protanopen notiert, der die Normalengleichung nicht annahm, und da wird wohl eher ein Untersuchungsfehler vorliegen, als eine Ausnahme von der Regel.

B. Erkennung der Anomalen.

Etwas komplizierter und schwieriger gestaltet sich die Untersuchung der Anomalen.

Während wir es bei dem dichromatischen System mit ziemlich konstanten Reizwerten und diesen entsprechenden Reizwertkurven zu tun haben, denken wir uns die Anomalen durch eine Verschiebung der Warmwertkurven gegeneinander charakterisiert, die naturgemäß verschiedene Grade annehmen kann. Die Anomalen stehen so mehr weniger in der Mitte zwischen Normalen und Farbenblinden und weisen Übergangsformen nach beiden Seiten auf, deren Zuteilung keineswegs immer eine leichte ist. Diese Bemerkungen sind indessen nicht so zu verstehen, als ob das ganze anomale System etwas Schwankendes, nicht recht Faßbares und in der Deutung mehr weniger dem persönlichen Ermessen Anheimgegebenes wäre. Das ist durchaus nicht der Fall, sondern die weitaus überwiegende Mehrzahl der Anomalen ist durch ganz typische Mischungsgleichungen vollständig sicher charakterisiert; in das Grenzgebiet fallen immer nur Ausnahmsfälle, und auch da verfügen wir heute schon über so ausgedehnte Erfahrungen, daß auftauchende Zweifel meist leicht zu beheben sind.

Die wesentlichen Verschiedenheiten in der Diagnostik der Dichromaten und Anomalen sind darnach leicht wahrzunehmen.

Bei den Gleichungen der Dichromaten hatten wir es durchaus mit homogenen Lichtern zu tun, von welchen außerdem das eine (die mit *Li* oder *Tl* erleuchtete obere Feldhälfte) konstant gegeben war, so daß nur die Intensität des Gelb zu suchen blieb. Es genügte also dort eine einfache Bestimmung (nach der Helligkeit des Gelb) zur Feststellung und Kennzeichnung der betreffenden Gleichungen.

Anders steht es bei der Untersuchung der Anomalen. Hier treten an Stelle des homogenen *Li* und *Tl* in der oberen Feldhälfte verschiedene Mischungen beider Lichter, und wir bedürfen zur Ermittlung und Charakterisierung dieser Gleichungen einer zweifachen Bestimmung nach dem Mischungsverhältnis von Rot und Grün und der Intensität des Gelb. Die Veränderlichkeit zweier Faktoren bringt naturgemäß zahlreichere Variations-Möglichkeiten mit sich; außerdem werden die Gleichungen in der mannigfaltigsten Weise von den sekundären Symptomen beeinflußt.

Wir müssen daher bei der Untersuchung der Anomalen die einfachen Proben in noch viel ausgiebigerem Maße heranziehen, als wir dies bei den Farbenblinden tun, da wir namentlich bei den Übergangsformen nach den Dichromasien, wie nach dem normalen Farbensinne hin nach den Befunden am Anomaloskope allein nicht immer eine verläßliche Entscheidung treffen können.

Den Dichromasien gegenüber kommt uns dabei namentlich die Erfahrung zu statten, daß die Farbenblinden an der Hand von Nagels Tafeln bestimmte Verwechslungen aufweisen, die bei Anomalen niemals vorkommen, während die spektralen Gleichungen in extrem-anomalen Fällen ziemlich nahe an jene der Dichromaten heranrücken können. Und bei Grenzfällen nach dem normalen Farbensinne hin geben uns wieder Nagels und Stillings Tafeln den für die praktische Beurteilung unentbehrlichen Aufschluß über den Grad der etwa vorhandenen Farbenschwäche.

Wir werden somit den Kreis diagnostischer Erörterungen hier beträchtlich weiter ziehen und mit der Ableitung allgemeiner Regeln noch vorsichtiger sein müssen. Im wesentlichen wird unsere Aufgabe darin bestehen, zunächst die abweichenden Mischungsgleichungen zu kennzeichnen, dann die sekundären Merkmale nach ihrer Erscheinungsform und Bedeutung zu würdigen und endlich die gegenseitigen Beziehungen dieser zwei Symptomenreihen nach Möglichkeit klarzulegen.

Als oberster Grundsatz ist festzuhalten, daß die Anomalen primär und wesentlich durch die abweichende Rayleigh-Gleichung charakterisiert sind. Wo diese nicht festgelegt ist,

darf die Diagnose der Anomalie überhaupt nicht gestellt werden, da sie sonst bestenfalls eine Vermutung bleibt, der die Bestätigung durch das vor allem kennzeichnende Kriterium fehlt.

1. Rayleigh-Gleichung der Normalen.

Ehe wir jedoch auf die Abweichung von der Rayleigh-Gleichung eingehen, müssen wir zunächst die Normalengleichung ermitteln.

Lithiumrot und Thalliumgrün liefern ein Mischgelb, dessen Farbe dem homogenen Natrium vollkommen gleich erscheint und bei mittlerer Intensität auch an Sättigung wenig nachsteht. Die Technik der Herstellung dieser Gleichung am Anomaloskope wurde bereits beschrieben. Durch Drehen an der Schraube der gekoppelten Spalte erhält man jede beliebige Mischung zwischen Rot und Grün; die Trommel des Solitärspaltes zeigt die Intensität des Natriumlichtes an. Der Beobachter stellt zu einem gegebenen Gelb das diesem entsprechende Mischgelb ein oder umgekehrt und ändert dann Farbe oder Intensität, oder abwechselnd beides so lange, bis beide Teilfelder vollkommen gleich aussehen. Auf der Trommel der gekoppelten Spalte ist das Verhältnis der Komponenten, auf jener des einfachen Spaltes die Intensität des Natrium abzulesen.

Das Rot:Grün-Gemisch, das einem bestimmten Gelb gleich aussieht, ist nun für den Normalen in seinen Bestandteilen scharf begrenzt und streng typisch; eine Vermehrung der Rot- oder Grün-Komponente nur um 1 oder 2 Teilstriche stört die Gleichung sofort. Durch Herabsetzung des Sehvermögens auf etwa $^1/_6$ kann die Schärfe der Einstellung um weitere 1 bis 2 Teilstriche abnehmen (Köllner)[1]).

Sehr wesentlich hängt die Zusammensetzung des Mischgelb von der Intensität des homogenen Vergleichslichtes ab. Die Helligkeitsgrenzen des homogenen Gelb, innerhalb welcher der Farbentüchtige überhaupt Gleichung mit dem Rot:Grün-Gemische erhalten kann, reichen etwa von **14** bis **17** der Natrium-Stellschraube. Je dunkler das Gelb gewählt wird, um so mehr muß die Rotkomponente des binären Gemisches vermehrt werden; je heller das Gelb, um so mehr Grün wird zur Mischung verlangt; doch schwankt die Einstellungsbreite des Mischlichtes dabei nur um wenige Teilstriche, etwa von **58** bis **60**.

Als durchschnittliche Normalengleichung kann man bei einer Helligkeit des Natrium von **16** ein Mischungsverhältnis von **59** annehmen. Von den **73** Intervallen der Trommelteilung entfallen dann **59** auf Lithium und **14** auf Thallium. Diese Zahlen treffen an unseren Instrumenten so gut wie für alle Farbentüchtigen zu.

[1]) Die Störungen des Farbensinnes, S. 373.

Nagel gibt für die Natriumspaltweite **15** bis **17**, für die Stellung des Mischungsspaltes **56** bis **64** an. Bei Köllner findet man die Zahlen **14** und ebenfalls **56** bis **64**.

Wie man sieht, differieren die Angaben nur sehr wenig, und ich möchte hinzufügen, daß sich meine Zahlen zum großen Teile auf ein Modell II beziehen, sowie daß auch unser Modell I in der Gelbintensität etwas höher (**14·5** bis **16**) eingestellt ist, so daß beide Apparate nahezu übereinstimmen. Bei den neueren, nach den Bleilinien geaichten Instrumenten liegt die Normalengleichung meist bei einer Gelbintensität von **13** bis **15** (im Mittel also bei **14**), wozu dann ein Mischlicht mit entsprechend erhöhtem Rotanteil (bis **60** und **61**) verlangt wird. Die Zahlen für die Normalengleichung werden von der Firma für das einzelne Instrument immer bekannt gegeben und sind an Normalen auch jederzeit leicht festzustellen; die Schwankungen in der Zusammensetzung des Mischlichtes pflegen 1 bis 2 Teilstriche nicht zu übersteigen.

Am wenigsten verträgt die Gleichung eine Vermehrung der Rotkomponente; fügt man davon nur einen Teilstrich zu (indem man die Trommel des gekoppelten Spaltes auf **60** stellt), so wird das obere Feld bereits merklich dunkler und erhält einen rötlichen Schimmer, der bei **61** schon einer bestimmten Rotfärbung Platz macht. Eine Vermehrung des Grünanteiles um 1 Teilstrich bringt dagegen kaum eine Änderung der Helligkeit oder des Farbentones hervor; aber schon bei **57** stellt sich nebst merklicher Aufhellung ein unverkennbar grünlicher Schimmer ein, der bei **56** bereits in einen ausgesprochen grünen Farbenton übergeht. Am wenigsten stören Veränderungen des Gelbspaltes um 1 bis 2 Teilstriche, meist wird jedoch auch hier eine Verstellung des Mischungsspaltes in dem angegebenen Sinne verlangt: bei **15** etwa **60**, bei **14** um **61**, mit **62** erhält man überhaupt keine Gleichung mehr. Nimmt man ein helleres Gelb, etwa **17**, dann muß der Grünanteil auf **58** erhöht werden. Wie man sieht, sind die Schwankungen außerordentlich gering und das leiseste Vorwiegen einer oder der anderen Komponente, sowie jede Veränderung der Gelbintensität um 1 bis 2 Intervalle werden für den farbentüchtigen Beobachter sofort bemerkbar. Für individuelle Schwankungen ist im Bereiche der Normalengleichung somit nur wenig Raum, und die für diese Grenzwerte sonst noch in Betracht kommenden Momente sollen bei der Gruppe der Leichtanomalen Erwähnung finden.

Weiter wäre noch zu bemerken, daß bei dieser Anordnung in jedem Falle und bei jedem System irgend eine Gleichung zu erzielen sein muß. Die Anomalen verlangen dazu eine entsprechende Vermehrung des Rot- oder Grünanteiles der Mischung und die Farbenblinden erhalten Gleichung mit Gelb bei jedem be-

liebigen Mischungsverhältnis von Rot:Grün, und bekanntlich auch mit reinem Rot oder reinem Grün.

Läßt man die Normalengleichung (59:16) von einem Protanomalen betrachten, so überwiegt für diesen der Grünanteil der Mischung, weil er für langwelliges Licht untererregbar ist. Der Rotanteil weist demgemäß einen geringeren Reizwert auf und das Mischlicht sieht für ihn grün aus; das homogene Gelb durch Kontraststeigerung meist rot. Um Gleichung zu erzielen, muß man den Rotanteil allmählich erhöhen; je mehr sich die zwei Felder dann in Farbe und Helligkeit nähern, um so mehr schwindet der Kontrast, und schließlich erscheinen beide Hälften gleichmäßig gelb.

Für den Deuteranomalen mit seiner Unterempfindlichkeit für kürzerwellige Strahlen kommt dagegen in der Mischung die Rotkomponente stärker zur Geltung, und er nennt das Mischlicht rot, das gelbe Vergleichsfeld infolge Kontraststeigerung grün. Um Gleichung zu erhalten, muß er die Grünkomponente beträchtlich erhöhen, wobei auch die Induktion der Kontrastfarbe allmählich abnimmt, bis beide Teilfelder gleich gelb erscheinen.

In ganz analoger Weise, wie bei den Normalen, ändert sich auch bei den Anomalen (innerhalb gewisser Grenzen, die von dem Grade der Unterschiedsempfindlichkeit und Ermüdbarkeit abhängen) das Mischungsverhältnis mit der Helligkeit des gelben Vergleichslichtes. Es ist auch hier keineswegs immer nur eine Gleichung möglich, sondern es werden je nach der Intensität des homogenen Gelb meist mehrere Einstellungen als gleichaussehend anerkannt. Jede genaue zahlenmäßige Bestimmung des Mischungsverhältnisses gilt somit immer nur für eine bestimmte Gelbintensität. Will man also für die einzelnen Formen bestimmte Durchschnittsgleichungen aufstellen, so muß man sowohl das Mischungsverhältnis, als die Helligkeit des Gelb angeben; die Bestimmung des einen Faktors allein hat nur relativen Wert, weil der zugehörige zweite dann erst gesucht werden muß.

Ich möchte dabei empfehlen, für die einzelnen Systeme von verschiedenen Helligkeiten des Gelb auszugehen. Die betreffenden Zusammenstellungen wären so zu wählen, daß sie einerseits für die Mehrzahl der Beobachter möglichst genau stimmen, und anderseits wird man sich bemühen, sie nach Zulässigkeit auseinanderzulegen, damit jede für sich auch für den normalen Beobachter recht sinnfällig bleibe.

Im allgemeinen werden wir bei der Wahl des Gelb für die einzelnen Gruppengleichungen die uns schon bekannten Eigentümlichkeiten in der Helligkeitsverteilung zu berücksichtigen haben. Wir wissen, daß die Protanomalen infolge ihrer Untererregbarkeit für rotes Licht ein stark dunkles Gelb zur Gleichung fordern, und zwar fallen Helligkeitsunterschiede hier besonders ins Gewicht, weil sich die Lichtstärke

in der Region des Lithiumrot so rasch ändert, daß eine Abweichung in der Wellenlänge von 0·5 $\mu\mu$ in dem erforderlichen Mischungsverhältnisse schon bemerkbar ist[1]). Wir wählen also z. B. eine Gelbintensität von 10 Intervallen. Die Deuteranomalen dagegen verlangen ein ziemlich helles Gelb zur Gleichung, da ihnen das Grün mehr weniger farblos erscheint. Wir nehmen etwa eine Natriumspaltweite von 19. Die Normalen stehen zwischen beiden, den Grünanomalen näher.

Die nachfolgend angeführten Spaltweiten für die Gleichungen der Anomalen gehen im wesentlichen auf Nagels persönliche Bestimmung für unseren Apparat zurück; die Zahlen haben sich in jahrelanger Erfahrung ganz vortrefflich bewährt und erwiesen sich auch für die neueren Instrumente mit nur geringen Verschiebungen zutreffend.

Auch Guttmann[2]) verlangt für Deuteranomale eine andere Helligkeit des gelben Vergleichslichtes als für Normale.

Für Normale und Deuteranomale liegen die Intensitäten so nahe aneinander, daß man sie zusammenlegen und für beide Systeme etwa von den Zahlen 14 bis 16 ausgehen kann, was zweifellos eine wesentliche Vereinfachung bedeutet. Die geringen Veränderungen, die sich dadurch für das Rotgrüngemisch der Grünanomalen ergeben, wird jeder Prüfer, der sich für diese Methode entscheidet, nach den hier angeführten Daten rasch herausfinden.

Nach diesen Vorbemerkungen können wir nun an die Feststellung der Anomalengleichungen selbst gehen.

2. Rayleigh-Gleichung der Deuteranomalen.

Der Deuteranomale ist für Grün untererregbar und braucht für das Mischgelb dieser Gleichung etwa die 3fache Grünmenge des Normalen[3]). Mitunter ist dabei auch die Erregbarkeit für Rot herabgesetzt.

Nagel gibt die Stellung des Mischungsspaltes mit 38 bis 45 an, die Weite des Natriumspaltes mit 15 bis 17. Bei Köllner findet man für das Rotgrüngemisch die Angabe: unter 52, etwa 38 bis 45.

Ich selbst untersuchte 357 Deuteranomale und erhielt die Gleichung bei folgenden Spaltstellungen: (Siehe Tabellen *a)*, *b)*, *c)* Seite 80).

Am häufigsten, 202mal, d. i. in 57% der Fälle kehren die Einstellungen 47 : 19 wieder; weiterhin findet man das Mischlicht von 47 noch 28mal bei Solitärspaltweiten von 14 bis 27. Im ganzen wurde das Mischungsverhältnis 47 somit beobachtet in 230 Fällen oder 64%. Das Gros der Fälle — 347 — liegt zwischen 40 und 49, unter 40 sind nur 10 Fälle verzeichnet. Die Spaltweite 19 für das Natriumlicht kehrt 311mal

[1]) Donders, Farbengleichungen, S. 520.

[2]) l. c. Bd. 43, S. 200.

[3]) Siehe S. 30 u. 32.

Beobachtete Spaltstellungen für die Rayleigh-Gleichung der Deuteranomalen.

Trommelintervalle:

a) Für beide Spalte.

Anzahl der Fälle	Stellung des Mischungs-spaltes	Stellung des Natrium-spaltes
1	34	19
1	35	16
2	36	19
2	37	19
2	38	19
1	38	24
1	39	19
1	40	16
1	40	18
3	40	19
2	41	16
5	41	19
6	42	19
8	43	19
2	44	16
15	44	19
1	44	21
1	45	16
12	45	19
2	46	16
15	46	19
1	47	14
2	47	16
4	47	17
2	47	18
202	**47**	**19**
7	47	20
3	47	21
3	47	22
3	47	23
1	47	24
1	47	25
1	47	27
2	48	16
20	48	19
1	49	16
17	49	19
1	49	21
1	49	22
1	49	29
357		

b) Für den Doppelspalt.

Anzahl der Fälle	Stellung des Mischungsspaltes
1	34
1	35
2	36
2	37
3	38
1	39
5	40
7	41
6	42
8	43
18	44
13	45
17	46
230	**47**
22	48
21	49
357	

c) Für den Solitärspalt.

Anzahl der Fälle	Stellung des Natriumspaltes
1	14
14	16
4	17
3	18
311	**19**
7	20
5	21
4	22
3	23
2	24
1	25
1	27
1	29
357	

wieder, d. i. in 87% der Fälle; die restlichen 46 Beobachtungen verteilen sich auf Spaltweiten von 14 bis 29.

Als Mittelwert für die Rayleigh-Gleichung der Deuteranomalen möchte ich demnach die Zahlen 47:19 annehmen; als Grenzwerte für die Stellung des Mischungsspaltes die Zahlen 40 bis 50, für die Weite des Natriumspaltes 14 bis 24.

Die Grenze gegen das reine Grün hin ist praktisch von geringerer Bedeutung, denn je größer die Toleranz gegen die Grünzumischung, um so ausgesprochener die Anomalie, und um so weniger kann ein Zweifel über die Farbenuntüchtigkeit bestehen. Die Grenze gegen vermehrte Rotzumischung, also gegen die Normalengleichung hin, wird dadurch gegeben, daß bei einem Mischungsverhältnisse von 50 aufwärts die Zeichen von Farbenschwäche schon merklich abnehmen und etwa in der Hälfte der Fälle vollständig fehlen. Unter 43 derartigen Fällen waren z. B. Nagel und Stilling 27mal positiv und 19mal fehlte überhaupt jedes Zeichen von Farbenschwäche, so daß in diesem Bereiche nur mehr selten von Farbenuntüchtigkeit im praktischen Sinne gesprochen werden kann.

Ist die Erregbarkeit für Rot ebenfalls herabgesetzt, dann können Rotzumischungen (auch ohne Ermüdung) als Gleichung angenommen werden, in denen das Mischlicht für den Normalen schon deutlich rot aussieht. Vielfach ergeben sich dann auch Fehler im Rot bei Prüfung mit Nagels Tafeln, was ich 15mal notiert finde.

Durch Ermüdung kann die Erregbarkeit für Grün noch beträchtlich unter den angegebenen Grenzwert sinken, so daß nicht selten (bei längerem Betrachten) Gleichung zwischen reinem Grün und Gelb angenommen wird. Auch die Toleranz für Rotzumengung kann unter solchen Verhältnissen in einer Weise zunehmen, daß reines Rot mit Gelb Gleichung gibt. Ebenso kann die Erregbarkeit für beide Farben in dem verschiedensten Ausmaße sinken.

Manche Deuteranomale vertragen von vorneherein (auch bei kürzester Betrachtung) Grünzumischungen weit über die oben angegebene Grenze hinaus, ja gar nicht selten kann man reines Grün neben das gelbe Vergleichslicht stellen und erhält Gleichung, sobald die Helligkeit des Gelb entsprechend reguliert wird. Nagel hat sie als **extrem grünanomal** bezeichnet. Die Abtrennung dieser Gruppe hat zwar keine wesentliche Bedeutung, erscheint aber nicht nur gerechtfertigt, sondern sehr zweckmäßig, weil diese Fälle auch sonstige Besonderheiten aufweisen. Das spektrale Grün, isoliert gezeigt, vermögen sie als spezifische Farbe nicht zu erkennen, und das Spektrum weist hier eine farblose Stelle auf; sie verlangen daher zur Grün:Gelb-Gleichung ein ziemlich helles Gelb, meist Spaltweiten um 50 herum. Nichtsdestoweniger kennen sie die Emp-

findung Grün wirklich und sprechen mit Bestimmtheit davon, sobald der Kontrast von seiten eines lebhaften Rot ihnen solches erscheinen läßt[1]). Guttmann[2]) meint darüber: „Es ist nicht die normale Grünempfindung, sondern die Empfindung eines gewissen, sozusagen nur im anomalen Farbensinn vorhandenen Grün, also eine vikariierende Grünempfindung, die vielleicht dem Normalen so unbekannt ist, wie umgekehrt die normale Grünempfindung dem Anomalen."

Bei Vorführung des Spektrums an Modell II sieht man weiterhin, daß die extrem Deuteranomalen auch in der Erkennung von Orange und Gelb noch unsicherer sind, als die typisch Grünanomalen, und keineswegs selten sich auch für Rot untererregbar erweisen; diese größere Toleranz gegen vermehrte Rotzumischung zeigt sich darin, daß sie Einstellungen als gleich anerkennen, welche der Rayleigh-Gleichung der Protanomalen nahe kommen. Die ganze Gruppe steht den Deuteranopen schon recht nahe, doch ist der kardinale Unterschied nicht zu übersehen, daß sie die typische Rot:Gelb-Gleichung der Deuteranopen nicht annehmen.

Auch am Farbengleichungsapparate und an Nagels Tafeln lassen sie die charakteristischen Verwechslungen der Deuteranopen vermissen, wenigstens in ihrer Gesamtheit; vereinzelt sind sie allerdings häufig nachweisbar. So kommt es gelegentlich vor, daß sie am Farbengleichungsapparate die dritte Einstellung (Rot:Gelb) nicht, wie die typisch Deuteranomalen, rot und grün nennen, sondern beide Felder, wie es die Deuteranopen zu tun pflegen, als rot bezeichnen.

An Nagels Tafeln fallen sie meist schon dadurch auf, daß sie sich auch im Rot unsicher zeigen und nicht nur die typischen Grün:Grau- und Grün:Braun-Verwechslungen begehen, sondern auch Rosa:Grau-, Rosa:Braun-, seltener Rosa:Blaugrün-Verwechslungen aufweisen. So halten sie z. B. Taf. 15 (Rosa mit zwei grauen Punkten), Taf. 12 (Braun:Gelbgrün) und die Taf. B_2 und B_4 (Rot:Braun) für einfarbig rot. Ich beobachtete die eine oder die andere, oder mehrere dieser Verwechslungen unter 32 Fällen — so viele muß ich von der Gesamtzahl von 357 Fällen in diese Kategorie stellen — 24mal.

Ich betone nochmals ausdrücklich, daß ich nur solche Fälle zu dieser Gruppe gerechnet habe, denen das spektrale Grün von vorneherein farblos erscheint, und nicht auch jene, welche die Grün:Gelb-Gleichung erst nach längerem Betrachten als Ermüdungsgleichung annehmen, sonst könnte man die Zahl der Fälle beträchtlich in die Höhe treiben. Wohl aber kommt Ermüdung für Rot bei extrem Deuteranomalen nicht selten vor. Ich konnte sie 2mal für reines Rot, 5mal für partiell vermehrte Rotzumischung feststellen; einer der erst-

[1]) Nagel, l. c. Bd. 41, S. 330.
[2]) l. c. Bd. 43, S. 257.

genannten Beobachter, der bei längerem Hineinsehen direkt die Rot: Gelb-Gleichung der Protanopen gelten ließ, gab selbst an, Kirschen und Erdbeeren nur schwer zu finden.

Die Farbe, in welcher die Rayleigh-Gleichung den Deuteranomalen erscheint, wird meist als gelb, grün, auch als orange oder rötlich angegeben. Das Mischgelb der Normalengleichung nennen sie infolge ihrer Unterempfindlichkeit für Grün so gut wie immer rot; das gelbe Vergleichsfeld durch Kontraststeigerung grün. Dasselbe gilt für die Protanomalengleichung.

Guttmann[1]) sagt darüber: „Das Gemisch des *Li*:*Tl*, das für den Normalen dem *Na*-Gelb gleich war, erschien deutlich rot; das homogene gelbe Vergleichslicht daneben nicht gelb, sondern grün. In dem Maße, wie die Rot-Grün-Mischung bei der Vermehrung des Grüngehaltes weniger rot, d. h. gelber wurde, erschien auch das (subjektiv) grüne Vergleichslicht für mich gelber, d. h. weniger grün. In dem Moment, wo die Rot-Grün-Mischung für mein Auge gelb erschien, war auch das homogene, grün erscheinende Licht zu Gelb abgeblaßt."

Von Grün aus die Rotempfindung kontrastiv zu erregen, ist bei den Deuteranomalen wegen der außerordentlichen Labilität der Grünempfindung schwieriger. Doch glaubt Guttmann nach seinen Kreiselversuchen mit Sicherheit sagen zu können, daß auch dieser Kontrast bei ihm gesteigert ist.

Vollständig fehlte der Kontrast, auch am Spektralapparate, insgesamt nur in **14** Fällen. Die Normalengleichung wurde neben jener der Deuteranomalen anerkannt in **26** Fällen, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß es sich dabei stets um Ermüdungserscheinungen gehandelt hat.

Unter den **357** Fällen finden sich auch drei deuteranomale Frauen, die in ihrem Verhalten keinerlei Besonderheiten aufweisen. Zwei davon (mit den Einstellungen **47**:**20** und **47**:**21**) bestanden die Tafelproben nach Nagel und Stilling; die dritte mit der Gleichung **36**:**19** erhielt durch Ermüdung Gleichung mit homogenem Grün, Nagel war +, Stilling —.

3. Leicht-Deuteranomale.

Interessant ist die nähere Betrachtung jener Fälle, deren Mischlicht für die Rayleigh-Gleichung über **50** der Skala liegt.

Wie erinnerlich, haben wir **59** als Mischungsverhältnis der Normalen angenommen. Bei **58** erscheint das Gemisch schon merklich lichter, als das gelbe Vergleichslicht, und bei **57** zeigt sich bereits ein leicht grünlicher Schimmer. Nun kommt es gelegentlich vor, daß die

[1]) l. c. Bd. 43, S. 147 und 150.

typische Normalengleichung (59 : 16) in der Helligkeit nicht stimmt, sondern das obere Feld zu dunkel erscheint; zur Herstellung der Gleichung muß man dann den Grünanteil um 1 bis 2 Teilstriche vermehren oder versuchen, ob man die Gleichung nicht durch entsprechende Verdunkelung des Gelb erzielen kann. Diese Fälle erweisen sich sonst als durchaus normal, und ich möchte daher Einstellungen von 58 und 57 noch in den Bereich individueller Schwankungen der Farbentüchtigen einbeziehen.

Ich bespreche somit hier nur jene Rayleigh-Gleichungen, in welchen für den Mischungsspalt Zahlen von 56 bis 50 herab verlangt wurden. Über die anomale Beschaffenheit dieser Gleichungen kann nicht der geringste Zweifel bestehen, da die genannten Mischlichter für den Normalen bestimmt grün aussehen und die Untererregbarkeit für diese Farbe damit erwiesen ist. Aber fast noch wichtiger, und für die praktische Beurteilung in erster Linie entscheidend, sind hier die Prüfungsergebnisse bei den einfachen Methoden, weil sie uns Aufschluß geben über das gleichzeitige Vorhandensein oder Fehlen von Farbenschwäche.

Ich habe 43 derartige Fälle untersucht und möchte sie mit Rücksicht auf ihr Verhalten den Pigmentfarben gegenüber in drei Gruppen teilen:

a) **18 Fälle mit mehr weniger deutlicher Farbenschwäche.** Für die Rayleigh-Gleichung verlangten sie folgende Einstellungen:

Anzahl der Fälle	Stellung des Mischungs- und Natriumspaltes
3	50 : 19
1	50 : 25
1	50 : 27
1	51 : 11
1	51 : 19
3	52 : 19
1	52 : 20
1	53 : 19
5	54 : 19
1	55 : 19
18	

In fünf Fällen wurde nebstbei auch die Normalengleichung anerkannt. Zweimal zeigte sich Ermüdung für Rot partiell, einmal für Rot und Grün partiell.

Die Prüfung mit Nagels und Stillings Tafeln, sowie mit dem Farbengleichungsapparate ergab folgendes:

Anzahl der Fälle	Nagel	Stilling	Farbengleichungsapparat
4	—	—	—
2	+	+	—
1	+	fehlt	—
3	—	+	—
4	—	+	+
4	—	fehlt	—
18			

b) **6** Fälle mit leichter Farbenschwäche, die sich durch ausgesprochenen Kontrast am Spektralapparate äußerte; zweimal war das Symptom auch am Gleichungsapparate nachweisbar. Sie zeigten nachstehende Gleichungen:

Anzahl der Fälle	Stellung des Mischungs- und Natriumspaltes
1	50 : 19
2	53 : 19
1	54 : 16
1	55 : 16
1	56 : 16
6	

Ihr Verhalten bei den einfacheren Methoden war folgendes:

Anzahl der Fälle	Nagel	Stilling	Farbengleichungsapparat
4	+	+	+
2		+	
6			

c) **19** Fälle, in denen jedes erkennbare Zeichen von Farbenschwäche fehlte. Die Pigmentverfahren wurden sämtlich tadellos bestanden, und auch eine Kontraststeigerung ließ sich nicht nachweisen; nur einmal war leichte Ermüdung für Rot vorhanden. In dieser Gruppe befinden sich ebenfalls 2 Frauen.

Ihre Gleichungen waren folgende:

Anzahl der Fälle	Stellung des Mischungs- und Natriumspaltes
1	50 : 19
2	51 : 19
1	52 : 16
1	53 : 19
1	54 : 16
3	54 : 19
3	55 : 16
3	55 : 19
1	55 : 20
2	56 : 16
1	56 : 19
19	

Fünfmal wurde auch die Normalengleichung angenommen.

Ich möchte diese **43** Fälle — sowie überhaupt alle mit Einstellungen von über **50** bis **56** für das Mischlicht — als Leicht-Deuteranomale bezeichnen und ihre praktische Bewertung nach dem vorhandenen Grade von Farbenschwäche einrichten. Die ersten **18** Fälle, die bei den Pigmentproben vielfach versagten (spektrale Anomalien + Farbenschwäche), rechnete ich zu den Farbenuntüchtigen, die **25** weiteren (rein spektrale Anomalien) zu den im praktischen Sinne Farbentüchtigen. Die Fälle, welche die Normalengleichung anerkennen, die typischen Anomalen-Einstellungen ablehnen und auch keine Ermüdung aufweisen, können der Beobachtung leicht entgehen; man findet sie nur durch Zufall oder wenn man die Grünkomponente Teilstrich für Teilstrich erhöht; mitunter wird auch vermehrte Rotzumischung auf 60 bis **61** nicht als Farben — sondern nur als Helligkeitsänderung wahrgenommen.

Die Bezeichnung Leicht-Deuteranomale ist selbstverständlich eine durchaus willkürliche (sie wird übrigens auch von Köllner[1]), allerdings in etwas anderem Sinne, gebraucht) und nur insofern berechtigt, als eben bei Einstellungen von über **50** bis **56** für das Rotgrüngemisch der Grad der Anomalie nur mehr ein geringer ist und Symptome der Farbenschwäche in der Mehrzahl der Fälle bereits fehlen. Man könnte ebensogut alle mit Farbenschwäche Behafteten dieser Einstellungszone einfach zu den typisch Anomalen schlagen und die davon Freien zu den Normalen; doch möchte ich ihre Zusammenlegung in eine Gruppe deshalb vorziehen, weil alle die gleich abweichende Rayleigh-

[1]) Die Störungen des Farbensinnes, S. 56.

Gleichung aufweisen und man in diesem Bereiche auf Grund des spektralen Befundes allein nicht mit der Abweisung vorgehen sollte, wie wir dies bei den typisch Anomalen meist tun. Es sollte vielmehr immer genauestens auf das Vorhandensein sekundärer Merkmale untersucht werden, und abzulehnen wären nur jene Fälle, welche bei den einfachen Methoden versagen. Auch für die gegenseitige Verständigung dürfte die Abtrennung von Vorteil sein.

Es kann wohl nicht überraschen, daß gerade in diesem Grenzgebiete die Übergänge fließend sind. Spektrale Anomalie und Farbenschwäche kombinieren sich in der mannigfachsten Weise, und es fehlen uns alle Anhaltspunkte, aus dem Vorhandensein oder Fehlen einer Symptomenreihe auf ein paralleles oder entgegengesetztes Verhalten der anderen zu schließen. Es erübrigt vielmehr nichts, als möglichst eingehend zu untersuchen, alle Abweichungen genau zu registrieren und bei der praktischen Beurteilung auf das sorgfältigste abzuwägen.

Es wird vielleicht auffallen, daß die in Gruppe *a)* mit Nagels Tafeln gewonnenen negativen Resultate häufiger mit den abweichenden spektralen Befunden übereinstimmen, als dies bei Stillings Tafeln der Fall ist. Da es sich in diesem Bereiche zweifellos um minutiöse Störungen des Farbenunterscheidungsvermögens handelt, möchte ich mich der Meinung Köllners[1]) anschließen, daß Nagels Tafeln noch ein feineres Reagens vorstellen. Es befinden sich gerade in dieser Gruppe zwei Kollegen, die als Chefärzte von Privatbahnen selbst viel mit Farbensinnprüfungen zu tun haben, die Stillings Tafeln flott lesen konnten, sich aber im Grün, Grau und Braun der Nagelschen Ringe nicht ganz sicher fühlten und deshalb um Überprüfung ihres Farbenunterscheidungsvermögens am Anomaloskope ersuchten. Beide waren solche Leicht-Deuteranomale mit Einstellungen von **51 : 19** und **55 : 19**.

Ich möchte nicht ermangeln, darauf hinzuweisen, daß es sehr wesentlich von der Untersuchungsmethode abhängt, wieviel Leicht-Deuteranomale man herausfindet. Nehmen wir z. B. an, die dargebotene Durchschnittsgleichung des typisch Deuteranomalen (**47 : 19**) stimme nicht, das obere Feld erscheine zu dunkel. Da gibt es meistens zwei Möglichkeiten, Gleichung zu erzielen. Lassen wir das Vergleichslicht unverändert und erhöhen den Rotanteil des Gemisches (wodurch dasselbe verdunkelt wird), so erhalten wir die Gleichung etwa bei einer Relation von **51 : 19** und der Fall wäre darnach unter die Leicht-Anomalen einzureihen. Belassen wir dagegen das Mischlicht und trachten die Gleichung durch Erhöhen der Intensität des Gelb herbeizuführen, so gelangen wir etwa zu einer Einstelluug von **47 : 21**, die in Beziehung

[1]) Über das Grenzgebiet, S. 249.

auf das Mischlicht einer typischen Deuteranomalie entspricht. Beide Zusammenstellungen können gleich gut stimmen, und der Prüfer hat die Wahl, welche von beiden er als giltig verzeichnen will. Ein richtigeres Bild von dem Falle gibt jedoch zweifellos die zweite Zusammenstellung, und wir werden im allgemeinen immer jene Gleichungen als maßgebend betrachten, welche den weitgehendsten Defekt offenbaren. Ich habe selbstverständlich nur solche Fälle unter die Leicht-Deuteranomalen gerechnet, welche ausschließlich die angeführten Gleichungen gelten ließen und jede solche mit Mischlichtern unter **50** verwarfen.

Ähnliche Erwägungen muß man sich überhaupt bei allen Gleichungen des normalen und anomalen Systems, in denen beide Lichter veränderlich sind, gegenwärtig halten. Die angeführten Zahlen bedeuten keineswegs immer die einzig mögliche, absolute Gleichheitsbedingung, sondern nur eine im Einzelfalle gut zusagende. Es ist dabei durchaus nicht ausgeschlossen, daß zu einer anderen Gelb-Intensität ein anderes, ebenfalls Gleichung gebendes Mischlicht gefunden wird und umgekehrt. Die Zahl der Gleichheitsbedingungen ist naturgemäß individuell verschieden und wird einerseits von der Unterschiedsempfindlichkeit überhaupt, anderseits von der Übung in solchen Beurteilungen abhängen. Je feiner das Differenzierungsvermögen von Haus aus und je größer die Übung in derartigen Beurteilungen, um so mehr wird man sich im speziellen Falle der einzig möglichen, absoluten Gleichung nähern. Durchschnittszahlen können daher immer nur jene Farbenzusammenstellungen anzeigen, welche unter mittleren Verhältnissen am besten zur Gleichung stimmen, aber sie schließen andere Gleichheitsmöglichkeiten nicht aus.

Dieselben Erwägungen gelten übrigens für die freie Einstellung. Man findet auch damit nicht die Gleichung, sondern nur eine Gleichung, und es würde die Untersuchung wohl ungemein komplizieren, wenn man jedesmal alle überhaupt möglichen Gleichungen aufsuchen wollte, und dabei bliebe es erst fraglich, ob sich der Anfänger die Begutachtung dadurch wirklich erleichtern würde.

Wenn man zu einer halbwegs faßlichen Übersicht dieser ziemlich schwierigen Verhältnisse gelangen will, halte ich es nicht für zweckmäßig, Ähnliches durch eine möglichst freie Untersuchungsmethodik noch weiter auseinander zu legen, sondern würde glauben, daß es die Orientierung wesentlich fördert, wenn man — bei möglichster Differenzierung in allen Einzelheiten — das überhaupt Vergleichbare zusammenlegt, in voller Erkenntnis, warum man es tut, und warum gerade auf diese Art. Auch zur gegenseitigen Verständigung, wie zu statistischer Verarbeitung, erscheint mir ein solches Vorgehen nicht ganz ohne Wert. Im übrigen betone ich, daß diese Ausführungen nur für den

Anfänger gedacht sind: der Wissende, Erfahrene und Geübte wird immer untersuchen, wie er es für gut findet, und in solche Anleitungen höchstens einen Blick werfen, um zu sehen, wie es andere machen.

4. Rayleigh-Gleichung der Protanomalen.

Der Protanomale ist für Rot untererregbar, und die zu dieser Gleichung erforderliche Rotmenge betrug z. B. bei Levy, je nach der Wellenlänge des Vergleichslichtes, das **3·4** bis **5**fache des Normalen. (Siehe S. 33.)

Nach Nagel erhält der Protanomale die Rayleigh-Gleichung bei einer Natrium-Spaltweite von **3** bis **5** und bei Stellung des Mischungsspaltes auf etwa **70**. Bei Köllner lauten die Zahlen auf **5** bis **7** und über **66**, im Durchschnitt **69**.

Ich selbst untersuchte **40** Protanomale und gebe die erhaltenen Spaltweiten in den folgenden Tabellen wieder.

Beobachtete Spaltstellungen für die Rayleigh-Gleichung der Protanomalen.

Trommelintervalle:

a) Für beide Spalte.

Anzahl der Fälle	Stellung des Mischungsspaltes	Stellung des Natriumspaltes
1	66	7
3	66	10
4	67	10
1	68	6
3	68	7
6	68	10
1	69	10
1	70	4
2	70	6
5	70	7
1	70	8
1	70	9
9	70	10
1	71	10
1	72	10
40		

b) Für den Doppelspalt.

Anzahl der Fälle	Stellung des Mischungsspaltes
4	66
4	67
10	68
1	69
19	**70**
1	71
1	72
40	

c) Für den Solitärspalt.

Anzahl der Fälle	Stellung des Natriumspaltes
1	4
3	6
9	7
1	8
1	9
25	**10**
40	

Der Mischungsspalt zeigt Relationen von **66** bis **72**, der Natriumspalt Weiten von **4** bis **10**. Am häufigsten erhält man die Gleichung bei einer Intensität des gelben Vergleichslichtes von **10**, und bei einer

Stellung des Mischungsspaltes auf **70**; doch sind diese beiden Zahlen nicht immer streng konjugiert, sondern es ergeben sich für beide Werte vielfach Kombinationen mit anderen Einstellungen. Als Mittelwert für die Protanomaleneinstellung kann man demnach das Verhältnis von **70 : 10** annehmen; weiterhin findet sich am häufigsten die Relation von **68 : 10**.

Bei der kleinen Zahl von Beobachtungen und der großen Mannigfaltigkeit der Formen haben diese Angaben indessen nur geringere Bedeutung. Als Grenzwerte für den Mischungsspalt können die Zahlen **66** bis **72**, und für den Solitärspalt jene von **4** bis **10** gelten.

Die Farbe der Protanomalen-Gleichung wird als Rot, Orange, Grün oder Gelb bezeichnet. Bei dieser Gruppe kommt auch die Kontrasterregung von seiten des Grün deutlich zum Ausdruck, indem die Protanomalen das Rotgrüngemisch in der Normalen- und Deuteranomalen-Gleichung infolge ihrer Untererregbarkeit für Rot meist grün und das gelbe Vergleichslicht durch Kontraststeigerung rot oder orange nennen.

Leicht-Protanomale, welche analog der ähnlichen Gruppe bei den Deuteranomalen zwischen die Normalen und typisch Protanomalen zu stellen wären, habe ich nicht beobachtet. Es kommt wohl ab und zu vor, daß in der typischen Normalengleichung das obere Feld lichter aussieht und zur Gleichheit die Vermehrung der Rotkomponente um einen Teilstrich verlangt wird (also ein Mischlicht von **60**, das für den Normalen bereits unzweifelhaft rötlich aussieht), aber die Fälle verhalten sich sonst durchaus normal, daher ich sie zu den individuellen Abweichungen innerhalb des normalen trichromatischen Systems rechnen möchte. Lichtgemische von **61** bis **65** zur Rayleigh-Gleichung finde ich nicht verzeichnet.

Durch Ermüdung kann die Erregbarkeit für beide Mischlichter vermindert werden; bei längerem Hineinblicken erhält man dann Gleichungen zwischen reinem Grün und entsprechend abgestuftem Gelb; auch weitere Vermehrungen des Rotanteiles werden ertragen, ohne daß Ungleichheit eintritt; indessen sind hier die Grenzen ziemlich eng gezogen, weil vom **73**. Teilstrich an die Schraube bereits leer geht.

Auch hier gibt es **extreme Formen**, welche primär Gleichung zwischen *Li*-Rot und *Na*-Gelb erhalten; die dabei für das Vergleichslicht geforderte Helligkeit steht bald jener der Protanopen, bald jener der Protanomalen nahe, bietet also nicht immer eine verläßliche Differenzierung.

Ich zählte sechs derartige Fälle unter **40** Beobachtungen. Die Unterscheidung von Protanopie ist durch das Fehlen der Grün : Gelb-Gleichung (an Modell II auch der neutralen Strecke im Spektrum),

sowie durch das Verhalten gegen die anderen Methoden gegeben, bei welchen man die typischen Verwechslungen der Dichromaten vermißt. Sie kann schwierig werden und erfordert sorgfältigstes Abwägen aller nur irgendwie in Betracht kommenden Einzelheiten. Glücklicherweise wäre auch ein Irrtum in der Diagnose hier ohne praktische Bedeutung, da über die Farbenuntüchtigkeit in beiden Fällen nicht der geringste Zweifel bestehen kann.

Läßt man an Modell II die einzelnen Lichter des Spektrums betrachten, so zeigt sich dasselbe am langwelligen Ende deutlich verkürzt, lichtes Rot wird oftmals grün genannt, und auch im Orange, Gelb und Grün lauten die Angaben schwankend und häufig objektiv unrichtig.

Bei Prüfung mit Nagels Tafeln konnte ich zwölfmal Unsicherheit im Rot und unrichtige Angaben bei den Fragen 1 und 2 feststellen.

Ganz ähnlich, wie bei den Protanopen (gegenüber den Deuteranopen) sind auch bei den Protanomalen (im Verhältnisse zu den Deuteranomalen) die gesamten Erscheinungen weitaus mannigfaltiger, schwerer zu deuten und oft geradezu irreführend. Die meisten Fälle weisen, an allen zugänglichen und brauchbaren Verfahren gemessen, vielfache Besonderheiten auf, die alle namhaft zu machen, hier zu weit führen würde. So konnte ich mich bei wiederholter Untersuchung einzelner Fälle in größeren Zwischenräumen überzeugen, daß die Rot: Gelbgleichung keineswegs immer mit den gleichen Zahlen eingestellt wurde, sondern sie lag bald jener des Protanopen, bald jener des Protanomalen näher, und nach diesem Symptome allein hätte man leicht im Zweifel bleiben können, welches System eigentlich vorliegt. Hier wird die Prüfung mit den einfacheren Methoden geradezu unentbehrlich, und die wertvollste Unterstützung erhält man immer durch die Nagelschen Tafeln, welche bei Scheidung der Dichromaten von den Anomalen nur selten im Stiche lassen. Allerdings finde ich auch zwei typische Fälle notiert, in welchen diese Tafelprobe bestanden wurde, einmal war das Ergebnis ein fragliches und einmal nur bei der Abteilung A positiv.

Auch mit dem Farbengleichungsapparate ist die Trennung der Systeme meist nicht möglich, indem sowohl Protanopen als Protanomale in der charakteristischen Rot: Gelb-Gleichung ein gleich dunkles Gelb verlangen und dieses Feld in beiden Fällen als grün bezeichnet zu werden pflegt; es ist dann schwer zu sagen, ob Kontrastwirkung oder Beeinträchtigung des absoluten Erkennungsvermögens vorliegt. Schon Nagel[1]) sagt, die einzigen Fehldiagnosen, die ihm mit diesem Apparat passiert seien, hätten extrem Protanomale betroffen, die er in zwei Fällen als Protanopen diagnostizierte.

Es empfiehlt sich daher dringend, zweifelhafte Fälle mehrmals zu

[1]) l. c. Bd. 41, S. 255.

verschiedenen Terminen und mit allen erreichbaren Hilfsmitteln auf das genaueste zu untersuchen, damit man nicht durch die häufig schwankenden Angaben in falsche Bahnen geleitet und dazu verführt werde, zufällige Abweichungen für dauernde Störungen zu nehmen. Mit zunehmender Erfahrung werden auch hier die Unterscheidungen immer feiner, sicherer und besser fundiert. Als ich anläßlich dieser Arbeit zahlreiche Nachprüfungen vornahm (die erste Untersuchung lag oft jahrelang zurück), war ich ebenfalls gezwungen, einen früher als extrem protanomal verzeichneten Fall unbedingt unter die Protanopen einzureihen. Man kann nahezu sicher annehmen, daß jedesmal, wenn sich eine Prüfung recht schwer anläßt, und keine Gleichung stimmen, oder die ermittelte in kein System passen will, ein Fall von Rotblindheit oder Rotanomalie vorliegt; am ehesten kommt man dann immer noch durch vorsichtige Abstufung des gelben Vergleichslichtes zum Ziele, denn hier genügen oft Veränderungen um Bruchteile eines Teilstriches, um einen ganz anderen Farbeneindruck hervorzurufen. Die ganze Gruppe der Protanomalen läßt sich überhaupt nicht so recht in die Mitte zwischen normalen Farbensinn und Protanopie stellen, sondern die Fälle liegen meist schon der Rotblindheit näher.

Die Kontraststeigerung am Spektralapparate fehlte in keinem der 40 Fälle. 5mal wurde zugleich die Normalengleichung anerkannt, 2mal auch jene der Deuteranomalen; beides wohl nur durch Ermüdung.

Auf Tafel VI sind die Durchschnittsgleichungen der einzelnen Formen von Farbensinnstörung samt ihren Grenzwerten zusammengestellt. Ihre bildliche Wiedergabe soll den ungefähren Farbeneindruck versinnlichen.

Die Zahlen sind selbstverständlich nicht wörtlich zu nehmen, sondern sollen nur besagen, daß die meisten scharfen Einstellungen doch um gewisse Mittelwerte herumliegen. Die abweichenden Wellenlängen der in den älteren Apparaten verwendeten Mischlichter, die Sauberkeit der Mattglasscheibe an der Lampe, die Art und jeweilige Beschaffenheit der Lichtquelle, die Stellung der Regulierdüse und Hülse, die Temperatur des Untersuchungszimmers usw. können die Einstellungen in nennenswerter Weise beeinflussen, ja das einfache Aufsetzen eines neuen Glühstrumpfes vermag die Wertigkeit der Skala um einen Teilstrich zu verschieben.

Unter gleichen Verhältnissen ist die Normalengleichung am konstantesten; ihre Zahlen dienen als Basis für die anderen Einstellungen. Der Rat Köllners[1]), zur Kontrolle des Apparates vor jeder Untersuchung die eigene normale Gleichung einzustellen, ist sehr zu beherzigen; in dem neuen Formular für Obergutachten bei den preußisch-

[1]) Anleitung, S. 152.

hessischen Bahnen ist dies ausdrücklich vorgeschrieben. Sollte sie von den Mittelwerten merklich abweichen, so lassen sich die anderen Zahlen leicht sinngemäß umrechnen. Eine Verschiebung des Mischungsverhältnisses von **59** auf **60** wird sich z. B. bei der Protanomalen-Gleichung kaum oder nur in Bruchteilen eines Teilstriches bemerkbar machen, während die Differenz bei der Deuteranomalen-Einstellung schon zwei Intervalle betragen kann.

Sonst erweisen sich als ziemlich konstant die Rot : Gelb-Gleichung der Protanopen und die Einstellung der Protanomalen; die Abweichungen sind hier in der Regel viel geringer, als man nach den angeführten Grenzwerten vermuten möchte, weil diese nur Ausnahmsfälle betreffen.

Auch die Rot : Gelb-Gleichung der Deuteranopen ist leicht zu finden, da die Schwankungen in der Gelbintensität nur gering sind und die Angaben meist ganz bestimmt lauten.

Die Grün : Gelb-Gleichungen der Dichromaten werden in der Regel mit den für die Gelbintensitäten eingesetzten Mittelwerten angenommen; die Gleichheitsbedingungen erstrecken sich jedoch häufig über **20** und mehr Intervalle.

Die häufigste und wichtigste Systemgleichung, jene der Deuteranomalen, weist wegen der oftmals schwankenden Einstellungsbreite und der Häufigkeit von Ermüdungserscheinungen die allergrößten Verschiedenheiten auf; doch liegen auch hier die scharfen Einstellungen (bei einer Gelbintensität von etwa **19**) meist um **45** herum.

Zur Eintragung der Befunde benütze ich ein ganz einfaches Formular, welches alles wesentliche festlegt und die Verarbeitung des Materiales sehr erleichtert. Ich schließe einen Abdruck davon bei. (Siehe Seite 94 und 95.)

Die an Modell I gewonnenen und S. 94 eingestellten Gleichungen sind leicht verständlich. Die Protanomalen- und Normalengleichung stimmen, die Deuteranomalen-Gleichung wird als weiß : gelb bezeichnet; eine Anomalie ist dadurch unwahrscheinlich. Die Deuteranopen-Einstellung wird abgelehnt, dagegen die typische Protanopen-Gleichung mit einer Einstellungsbreite von zwei Teilstrichen angenommen. Diagnose: Protanopie. An Modell II (S. 95) werden noch die Verkürzung des Spektrums und die typische neutrale Stelle bestätigt.

Als Beispiele setze ich noch die Zahlen einiger anderer Formen her.

I. 68 : 10 | 59 : 16 } rot : grün

45 : | 44 : } 19 gleich grün

K. k. priv. Südbahn-Gesellschaft.

Nr.

Name ..... Alter .....

Diensteigenschaft ..... Domizilort .....

Veranlassung der Untersuchung: Aufnahme. Anstellung. Wiederholungsprüfung.

Befund.

1. Körperkonstitution .....

2. Sehvermögen { Rechtes Auge / Linkes Auge

3. Farbensinn: *a)* Nagelsche Tafeln.

Abteilung A, Frage 1	—	Abteilung B, Tafel 1	rot u. grün
2	+	2	rot u. grün
3	—	3	rot u. grün
4	—	4	rot

b) Stillingsche Tafeln, Auflage XIII.

Tafel 1	+	Tafel 7	—
2	—	8	— (außer 6 und 9)
3	—	9	—
4	+ (außer 4)	10	—
5	—	11	—
6	—		

c) Holmgrensche Probe:

Grün. Grau, Braun, Rot
Purpur = blau, Blau
Feuerrot. Dunkelbraun u. Grün
} zugelegt.

d) Anomaloskop, Modell I.

68:10, gleich gelb 59:16, „ „	
47:19, weiß:gelb reines Rot:10, rot:gelb	
Rot:4 „ :5 } gleich gelb	
rein. Grün:50, gleich gelb (Einstellungsbreite 30—70)	

e) Anomaloskop, Modell II.

Spektrales Rot = gelb (auch grün); bedeutende Verkürzung, Rot verschwindet bei 24 der Linealteilung; langwellige Hälfte nur gelb genannt; ausgedehnte neutrale Strecke; dann blau.

f) Gleichungsapparat:

1. Hellrot: Dunkelrot = Grün: Rot
2. Hellrot: Hellrot .....
3. Hellrot: Gelb = beides grau, bei 1 helligkeitsgleich.
4. Weiß: Weiß .....
5. Bläulichgrün: Weiß.....

g) Dreilichterapparat .....

Keine Farbe richtig erkannt.

h) Diagnose: **Protanopie.**

4. Frühere Untersuchung.....

5. Anmerkung:

Wien, am 191

Bei etwas längerem Betrachten

40 : 21
25 : 26
reines Grün : 30
} gleich grün

62 : 15
65 : 14
68 : 12
reines Rot : 10
} gleich grünlich

Bei der Protanomalen- und Normalengleichung Kontraststeigerung; die Deuteranomalen-Gleichung wird mit **45** bis **44 : 19** angenommen. Bei Betrachtung durch mehrere Sekunden erhält man auch Gleichung mit reinem Grün und reinem Rot.

Diagnose: Deuteranomalie mit Ermüdung für reines Grün und reines Rot.

II. 68 : 10
59 : 16
47 : 19
Li : 10
Li : 5
} rot:grün

Bei leicht verlängerter Betrachtung:

47 : 19
45 : 16
41 : 16
35 : 19
25 : 25
20 : 27
10 : 35
Tl : 40
} gleich gelb

Bei augenblicklicher Betrachtung wird keine der typischen System-Gleichungen angenommen, doch zeigt sich ausgesprochene Kontraststeigerung; nach mehreren Sekunden wird nicht nur die Deuteranomalen-Gleichung anerkannt, sondern auch mit reinem Grün Gleichung erhalten.

Diagnose: Deuteranomalie bei leichtester Ermüdung; auch mit reinem Grün Gleichung.

III. 68 : 10
59 : 16
} rot:grün

47 : 18 grün:gelb

53 : 19 gleich gelb.

Nach mehreren Sekunden:

47 : 23
40 : 27
30 : 30
20 : 30
} gleich gelb.

Mit 10 und 65 keine Gleichung zu erhalten.

Bei der Protanomalen- und Normalengleichung gesteigerter Kontrast; Deuteranomalen-Gleichung objektiv richtig bezeichnet. Bei augenblicklicher Betrachtung durch Intensitätsänderung des Gelb keine Gleichung zu erzielen, wohl aber durch Vermehrung der Rotkomponente auf 53. Bei etwas längerem Hineinblicken erhält man auch bei vermehrter Grünzumischung Gleichung bis 20 herab.

Diagnose: Leichte Deuteranomalie mit Ermüdung für Grün partiell.

Die Fälle sind Abschriften und nicht etwa schematisch zusammengestellt.

Als Abkürzungen für die einzelnen Formen benütze ich die Nagelschen Chiffren *Pp* und *Dp* (für Protanop und Deuteranop) *Pm* und *Dm* (für Protanomaler und Deuteranomaler).

5. Die sekundären Merkmale der Anomalen.

Wenn wir nun zur Betrachtung der sogenannten sekundären Merkmale der Anomalen übergehen[1]), so wäre zunächst die Frage zu erörtern, in welcher Weise diese Symptome die Untersuchung mit dem Anomaloskope beeinflussen und wie wir dieselben festzustellen vermögen.

1. Die herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne verschiedener Wellenlänge macht sich am Anomaloskope hauptsächlich dadurch bemerkbar, daß die Rayleigh-Gleichung wohl in dem durchschnittlichen Mischungs- und Intensitätsverhältnisse eingestellt, beziehungsweise anerkannt wird, man aber gar nicht selten sowohl die Farbenmischung, als die Helligkeit des Gelb um mehrere Teilstriche verändern kann, ohne daß Ungleichheit eintritt. Mitunter ist die Unterschiedsempfindlichkeit derart vermindert und schwankend, daß es überhaupt kaum möglich erscheint, eine Gleichung zu erhalten. Dieselben und beträchtlich weiter auseinanderliegende Einstellungen werden abwechselnd anerkannt und verworfen, ohne daß man im Augenblicke die Stellschraube nur berührt hätte. Wie bereits erwähnt, galt dieses Symptom bei den ersten Beobachtern als eines der Hauptkriterien für Farbenschwäche. Im Hinblicke auf die geänderte Verteilung der Reizwerte bei den Anomalen darf man wohl annehmen, daß diese Unbestimmtheit der Einstellungsbreite mit auf der Alteration einer Komponente beruht und als Teilerscheinung ihrer abweichenden Bildung

[1]) Siehe oben S. 43.

aufzufassen ist, die naturgemäß in verschieden hohem Grade ausgebildet sein kann. Die Erscheinung würde dann allerdings mehr zu den ursprünglichen, als zu den abgeleiteten Störungen gehören.

2. und **3. Helligkeit und Intensität** können am Anomaloskope in mehrfacher Weise variiert werden. Von geringer praktischer Bedeutung ist die Abstufung der Lichtintensität durch Regulierung der Lichtquelle oder Änderung des Lampenabstandes, weil sowohl die Strahlung der Lampe, als ihre Distanz von der Spaltvorrichtung konstant sein sollen. Dagegen ist die Abstufung der Beleuchtungsintensität durch Änderung der Spaltweiten sehr wesentlich.

So kann die Intensität des Natriumlichtes durch Veränderungen der Spaltweite in weitem Umfange reguliert werden, da mit Erweiterung und Verengerung des Solitärspaltes auch die durchgelassene Lichtmenge steigt und fällt. Dabei ändert sich die Zusammensetzung des Lichtes um ein geringes, indem bei ganz geöffnetem Spalte Licht von etwa **585** bis **601** $\mu\mu$, also schon etwas vom Orange mit hereinfällt.

Die Abhängigkeit der Anomalen von kleinsten Schwankungen in der Intensität des gelben Vergleichslichtes macht sich häufig in recht auffallender Weise bemerkbar. Oft ist bei fixer Einstellung des Gelb überhaupt keine Rayleigh-Gleichung zu erzielen; sobald man aber die Intensität des Natriumlichtes nur um ein geringes auf oder ab verändert, wird die Mischungsgleichung unter dem Ausdrucke lebhafter Befriedigung sofort anerkannt. Besonders empfindlich gegen Intensitätsschwankungen sind (gleich den Protanopen) die Protanomalen.

Bei den gekoppelten Spalten bleibt die Summe beider Spaltweiten in allen Einstellungen die gleiche und damit auch die einfallende Lichtmenge. Dagegen ändert sich mit den Spaltweiten beständig das Mischungsverhältnis der zwei Komponenten und damit auch das Aussehen der Mischfarbe nach Ton und Intensität, da außer der Verschiedenheit der einfallenden Wellenlängen auch die Eigenhelligkeiten der zur Mischung gebrachten Lichter sehr wesentlich in Betracht kommen. Im allgemeinen bedingt vermehrte Rotzumischung eine „Verdunkelung", gesteigerte Grünzumischung eine „Aufhellung" des Mischlichtes. Bei all diesen Betrachtungen muß man im Auge behalten, daß infolge der nach dem kurzwelligen Ende hin zunehmenden Dispersion (in der Nähe der Thalliumlinie beträgt sie zirka 2·3mal soviel als in der Nähe der Lithiumlinie) bei gleicher linearer Vergrößerung des Rotspaltes die Differenz der Wellenlängen der hinzugemischten kürzerwelligen Lichter 2·3mal so groß ist, als jene der zugemengten längerwelligen Lichter bei der gleichen Erweiterung des Grünspaltes.

Bei anderen Spaltlagen, die man an Modell II nach Belieben wechseln kann, liegen die Verhältnisse je nach der Region des Spektrums, in der man sich gerade befindet, naturgemäß wieder verschieden,

und in den beiden Endstrecken, die sich an diesem Modell mit jedem der Spalte (nach Verdecken der beiden anderen) einstellen lassen, werden Änderungen der Wellenlänge überhaupt nur als Intensitätsunterschiede wahrgenommen.

Bei der oft beträchtlich herabgesetzten Unterschiedsempfindlichkeit der Anomalen für Farbentöne ist man für die feinere Einstellung der Gleichungen häufig mehr auf Helligkeits- als auf Farbenunterschiede angewiesen und man verständigt sich durch eine Frage in der erstgenannten Richtung meist leichter, als durch die umständlichen Beschreibungen des Farbentones, zu denen sich oft gerade die unsichersten Beobachter verpflichtet fühlen. Es ist am Anomaloskope nicht möglich (wie an den größeren Spektralapparaten), die zwei Felder zunächst auf gleiche Helligkeit zu bringen und dann erst den Farbenunterschied auszugleichen, da jede Veränderung der Stellschraube für das Mischlicht auch eine Änderung des Farbentones zur Folge hat.

4. Eine Veränderung des Gesichtsfeldes ist nur bei Modell II mit seinen drei Blenden verschiedenen Durchmessers möglich; bei Modell I ist das Gesichtsfeld unveränderlich. Für die Untersuchung angeborener Formen kommt übrigens die Größe des Gesichtsfeldes (in den hier möglichen Grenzen und bei normalem Visus) kaum in Betracht, und es verschlägt für das Ergebnis nicht viel, ob man mit einer größeren oder kleineren Blende untersucht. Guttmann[1]) hält die Darbietung eines größeren Feldes für zweckmäßiger, weil dann selbst Ungeübte die Gleichung in charakteristischer Weise einstellen.

5. Die Erhöhung der Zeitschwelle tritt bei Betrachtung von Spektralfarben ganz besonders auffällig hervor, weil hier alle sekundären Kriterien für ihre Erkennung wegfallen. Doch ist sie ohne besondere Versuchsanordnung nicht leicht isoliert nachzuweisen, sondern kombiniert sich meist in geradezu verwirrender Weise mit verminderter Unterschiedsempfindlichkeit für Farbenton, Intensität und Helligkeit, wie mit Ermüdungserscheinungen. Einzelne Beobachter blicken lange in den Apparat, bis sie sich zu einer Antwort entschließen, um sie gleich darauf wieder zurückzunehmen. Andere wieder geben selbst an, daß sich ihnen Farbenton und Helligkeit bei längerem Betrachten fortwährend veränderten, und machen auch bei gleicher Einstellung wechselnde Angaben. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Einstellungen zunächst von beiden Seiten möglichst einzuengen und dann dieses eingeschränkte Gebiet unter allen gebotenen Kautelen auf Gleichung zu durchsuchen. So gelingt es meist, zum Ziele zu kommen; doch muß man sich versichern, daß die gewählte Einstellung dauernd als Gleichung angenommen wird, sonst kann man groben Täuschungen unterliegen.

[1]) l. c. Bd. 42, S. 255.

6. Der gesteigerte Kontrast (bei Rot und Grün als induzierenden Farben) spielt bei Erkennung der Anomalen eine nicht unwesentliche Rolle. In welcher Weise er in Erscheinung tritt, wurde bereits mehrmals hervorgehoben; auch die anderen Farbenschwellen der anomalen Trichromaten sind in mannigfacher Weise vom Kontraste abhängig. Das Symptom erweist sich namentlich deshalb so wertvoll, weil es am Spektralapparate nur selten fehlt — unter den **357** Deuteranomalen nur **14**mal, unter **40** Protanomalen überhaupt nicht — und hat auch differenzial-diagnostische Bedeutung gegenüber den Dichromaten, bei denen es nur auf großem Felde und bei stärkerer Sättigung vorkommt. Nicht so regelmäßig ist die Kontraststeigerung am Farbengleichungsapparate nachzuweisen, und noch häufiger fehlt sie an den Nagelschen Tafeln. Für die Häufigkeit der Erscheinung bei den genannten Prüfungsverfahren, sowie für den Grad der Entwicklung ergeben sich die verschiedenartigsten Kombinationen. Der Kontrast kann am Anomaloskope bestimmt ausgesprochen sein, am Gleichungsapparate und den Tafeln aber vollständig fehlen oder nur in Spuren vorhanden sein; dagegen beobachtet man es selten, daß er bei den einfacheren Verfahren voll entwickelt, am Spektralapparate aber nur in Andeutung gefunden wird. Gelegentlich kommt es vor, daß sich die Kontraststeigerung nur beim ersten Hineinblicken geltend macht, indem z. B. die zuerst dargebotene Protanomalen-Gleichung von Deuteranomalen als Rot : Grün bezeichnet wird. Orientiert sich der Geprüfte im Laufe der Untersuchung über die dargebotenen Farben und man zeigt ihm neuerdings die erste Einstellung, dann fehlt der erhöhte Kontrast und die Bezeichnung erfolgt objektiv richtig mit Rot : Gelb. was bei einer subjektiven auf Urteilstätigkeit beruhenden Erscheinung wohl nicht zu verwundern ist.

„Da die meisten Kontrasterscheinungen von der Breite der Unsicherheit in der Beurteilung der Intensität und Qualität unserer Gesichtsempfindungen abhängig sind, so muß notwendig Übung in der Beurteilung von Farben einen beträchtlichen Einfluß auf das Eintreten des Kontrastes haben. So wie ein in der Beurteilung räumlicher Größen geübtes Auge sich vor manchen Täuschungen hüten wird, in die ein ungeübtes verfällt, wird es auch bei den Farbenbestimmungen geschehen, und ich glaube deshalb, daß geübte Augen den Kontrast im allgemeinen weniger lebhaft sehen werden als ungeübte"[1]).

Häufig muß man danach fragen, namentlich an den Tafeln, und oftmals wird er erst daraufhin bestimmt angegeben. Da es anderseits kaum vorkommt, daß ein Normaler am Anomaloskope Gelb neben Rot als grün, oder neben Grün als rot bezeichnet, so mahnt eine solche An-

[1]) v. Kries in Helmholtz, Physiologische Optik, III. Aufl., 2. Bd., S. 250.

gabe immer zu größter Vorsicht und weist nahezu mit Bestimmtheit auf eine Anomalie des Farbensinnes hin; auch Guttmann wurde zunächst durch diese Erscheinung auf seinen abweichenden Farbensinn aufmerksam.

Es bedarf kaum der Erwähnung, daß das Auftreten des Kontrastes an eine bestimmte Sättigung und Intensität sowohl der induzierenden als der reagierenden Farbe gebunden ist, und bei geringer Veränderung der Helligkeit des Gelb oder des Mischungsverhältnisses eintreten oder verschwinden kann. Auch muß man sich jederzeit vergewissern, daß es sich in derartigen Fällen wirklich um eine vom Nachbarfelde induzierte Farbenempfindung handelt und nicht um eine Beeinträchtigung des absoluten Erkennungsvermögens (wie z. B. bei den Dichromaten), die naturgemäß anders zu deuten ist.

7. Die erhöhte Ermüdbarkeit der Anomalen macht sich am Spektralapparate ganz besonders störend bemerkbar, wenngleich es nicht immer leicht, ja mitunter kaum möglich ist, sie scharf von anderen Minderwertigkeiten des anomalen Farbensehens zu trennen. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Rot und Grün kann durch Ermüdung ganz beträchtlich absinken. Man findet sowohl unter den Anomalen, als unter den bei oberflächlicher Untersuchung scheinbar Farbentüchtigen durchaus nicht selten Fälle, die bei längerem Hineinblicken ganz erhebliche Vermehrungen des Rot- oder Grünanteils (oder sowohl des einen als des anderen) im binären Gemische nicht wahrnehmen, ja selbst mit reinem Rot und Grün Gleichung erhalten, wenn nur die Intensität des gelben Vergleichslichtes entsprechend angepaßt wird. Auf diese Weise kann sich eine wahrhaft verwirrende Fülle von Gleichungen ergeben und die Orientierung sich um so schwieriger gestalten, als gerade von solchen Anomalen häufig auch die Normalengleichung anerkannt wird.

Schon Nagel[1]) hat speziell für die Protanomalen hervorgehoben, daß ihnen die Differenzen des Farbentones zwischen Rot und Gelb öfter verschwinden, wenn man sie einige Sekunden in das Okular des Farbenmischungsapparates blicken läßt.

Auch Guttmann[2]) betont die schnelle Ermüdbarkeit für farbige Reize bei den Anomalen und meint, daß der Normale mit seiner Einstellung auf Gleichheit eher zu Ende sei, als die durch Ermüdung bedingte Unsicherheit beginne.

Aber erst die Untersuchungsergebnisse Köllners[3]) haben uns die Wichtigkeit dieses bisher nicht genügend gewürdigten Symptoms so

[1]) l. c. Bd. 41, S. 254.

[2]) l. c. Bd. 43, S. 207.

[3]) Über das Grenzgebiet zwischen normalem Farbensinn und Farbenschwäche, Bericht über die XXXVII. Versaml. d. ophth. Ges. Heidelberg 1911, S. 245.

recht eindringlich zum Bewußtsein gebracht. Seine äußerst geschickte farbige Wiedergabe der in solchen Fällen erreichbaren Gleichungen, zusammengestellt mit den Resultaten der einfacheren Verfahren, wirkte geradezu frappierend und forderte sofort die eingehendste Beachtung.

Köllner fand unter 100 daraufhin geprüften Männern zunächst 8% typisch Farbenblinde und Farbenanomale. Alle anderen stellten die Normalengleichung scharf ein, wenn ihnen die Intensität des Gelb fix dargeboten wurde. Wenn Köllner dagegen die Lichtmischungen der Anomalen einstellte und die Beobachter aufforderte, zu versuchen, ob sie etwa durch Veränderung der Helligkeit des Gelb Gleichung erzielen könnten, so gelang dies bei weiteren 12% der Fälle, die zum Teil für Rot, zum Teil für Grün unterempfindlich waren. Ja einzelne sahen, wenn auch nicht gleich, so doch nach wenigen Sekunden, reines Rot und Gelb gleich, so daß man sie leicht hätte für Dichromaten halten können. Sie waren das aber durchaus nicht, sondern zeigten sich schon gegen geringe Grünzumischungen äußerst empfindlich; auch war das Helligkeitsverhältnis, in welchem Rot und Gelb gleich gesehen wurden, wechselnd und durchaus nicht typisch innerhalb der für Dichromaten geltenden Grenzen. In einem kleineren Teile zeigte sich in gleicher Weise eine isolierte Unterempfindlichkeit nur für Grünzumischung. Die für Rot Unterempfindlichen bestanden trotzdem die Proben an Nagels und Stillings Tafeln, sowie mit Nagel-Köllners Farbengleichungslampe, während die für Grün Unterempfindlichen bei diesen Proben zumeist versagten.

Alle diese Fälle hätte man somit bei bloßer Prüfung mit der Normalengleichung leicht für farbentüchtig halten können, während sie tatsächlich beträchtliche Abweichungen von der Norm darboten. Köllner stellte die Fälle in das Grenzgebiet zwischen normalem Farbensinn und den Anomalien und will sie praktisch nur so weit zu den Unbrauchbaren rechnen, als sie sich bei den einfacheren Proben unsicher zeigen; ebenso möchte er alle abweisen, die zwischen reinem *Li* und *Na* Gleichung erhalten.

Um derartige Erscheinungen nicht zu übersehen, empfiehlt Köllner, sich nicht etwa mit Anerkennung der Normalengleichung zu begnügen, sondern auch noch die Rotgrünmischungen beider Formen von Anomalie, sowie reines *Li* und *Tl* darzubieten und zu versuchen, ob nicht etwa durch Änderung der Intensität des Gelb Gleichung zu erzielen sei. Köllner fügt noch bei, die Gleichung zwischen *Li* und *Na* dürfe in Zukunft nicht mehr als Charakteristikum der Rotgrünblindheit betrachtet werden, da man sie sogar in Fällen finde, die mit den einfacheren Proben als Normale imponieren und sicher keine Dichromaten sind.

Die Erscheinung war auch mir aufgefallen und ich fand sie in

meinen Protokollen wiederholt vorgemerkt, doch hatte ich vorher nicht systematisch daraufhin untersucht. Erst seit dem Vortrage Köllners in Heidelberg verfolgte ich die Frage auf das genaueste und überzeugte mich bald, daß sich die gesteigerte Ermüdbarkeit für Rot oder Grün allein, wie auch für beide Farben, bei Anomalen und scheinbar Farbentüchtigen keineswegs selten nachweisen läßt.

Als Ermüdungsgleichungen faßte ich dabei sinngemäß nur jene Farbenzusammenstellungen auf, die erst nach etwas längerem Betrachten als gleich anerkannt, dagegen nach kurzem Wegblicken oder mit ausgeruhtem Auge sofort abgelehnt wurden. Namentlich der letztgenannte Versuch scheint mir entscheidend, weil die Dauer der Beobachtung nicht so leicht zu begrenzen, beziehungsweise zu messen ist und so manche Beobachter vor Ablauf mehrerer Sekunden überhaupt zu keiner Antwort zu bewegen sind. Ich glaube, daß das Symptom trotz der Kürze der Zeit, in die es eingeschlossen ist, dadurch mit genügender Schärfe präzisiert erscheint und persönlicher Willkür kein nennenswerter Spielraum bleibt. Auch Köllner[1]) sagt in seinem Lehrbuch: „Unter anomale Rayleigh-Gleichung rechnet man am besten nicht mehr diejenigen mit, welche erst nach mehrere Sekunden langer Fixation angenommen werden".

Als bereits ursprünglich vorhanden, auf abweichender Bildung beruhend, nahm ich immer nur jene Gleichungen an, die sofort anerkannt wurden und auch bei wiederholten Darbietungen unverändert bestehen blieben. Und nur diese scheinen mir maßgebend für die Einreihung in ein System. Ich habe demgemäß jene Fälle, welche die Anomalengleichungen unter allen Umständen annehmen, auch zu den Anomalen gerechnet, ohne Rücksicht darauf, ob sie die Normalengleichung anerkennen oder nicht. Werden bei längerem Zusehen und entsprechender Änderung des Vergleichslichtes noch weitere Beimischungen von Rot oder Grün (über die Durchschnittsgrenzen hinaus) vertragen, ohne daß Ungleichung eintritt, so habe ich diese als Ermüdungserscheinungen gebucht.

Doch gibt es auch hier Fälle, die eine gewisse Mittelstellung einnehmen, indem der Umschlag so rasch eintritt, daß das kaum ausgesprochene „ungleich" schon in „gleich" verbessert wird. Nach glatter Anerkennung der Normalengleichung erfolgt im ersten Augenblicke Ablehnung der Deuteranomalen-Gleichung, aber schon nach 1 bis 2 Sekunden ist die Scheibe einfarbig geworden. Oder es kommt vor, daß die Beobachter auf den ersten Blick überhaupt keine Gleichung gelten lassen, weder die Mischung des Normalen noch jene des Deuteranomalen, aber nach allerkürzester Betrachtung nicht nur beide, sondern

[1]) l. c., S. 61.

selbst darüber hinausgehende Grünzumischungen als Gleichung hinnehmen. Ich würde daher glauben, daß die Darbietung fertiger Gleichungen für derartige Unterscheidungen mehr Anhaltspunkte gewährt, als die freie Einstellung, weil diese immerhin einige Zeit in Anspruch nimmt und sich unterdessen Ermüdungserscheinungen einmischen können.

Die Beurteilung jener Fälle, welche konstant nur die Normalengleichung annehmen, bei eintretender Ermüdung aber auch stärkere Zumischungen von Rot und Grün gelten lassen, wird theoretisch und praktisch von besonderen Gesichtspunkten aus geschehen müssen. Auf keinen Fall läßt sich die Erscheinung im Bereiche des Normalen unterbringen, und deshalb hat wohl auch Köllner seine oben beschriebenen Fälle in das Grenzgebiet zwischen normalem und anomalem System gestellt. Man kann vielleicht daran denken, daß es sich dabei um Leichtestanomale handelt, bei denen von dem mannigfachen sekundären Symptomenkomplexe eben nur die erhöhte Ermüdbarkeit deutlicher ausgesprochen ist.

Für die praktische Bewertung werden einerseits der Grad, bis zu welchem die Erscheinung gediehen ist, sowie die Art ihrer Abhängigkeit von allgemeiner körperlicher Ermüdung, und andererseits die Ergebnisse der einfacheren Untersuchungsmethoden auf das sorgfältigste zu beachten sein. Lauten diese günstig, ist die Konstitution und die Widerstandsfähigkeit eine kräftige, dann wird man namentlich bei älteren, in diesem Sinne bereits erprobten und bewährten Personen immerhin auf tauglich erkennen dürfen. Sind die Ergebnisse der sonst gebräuchlichen Verfahren minder günstig, oder stimmen sie untereinander nicht recht überein, ist die Veranlagung eine schwächliche, dann wird größte Vorsicht am Platze sein; insbesondere, wenn die Farbenempfindung im allgemeinen eine unbestimmte ist und die Beantwortung der einzelnen Fragen nur zögernd und unsicher geschieht, wie es gerade hier nicht selten beobachtet wird.

Unter Zugrundelegung dieser Kriterien gruppiere ich meine Untersuchungsergebnisse wie folgt. Ich beobachtete die gesteigerte Ermüdbarkeit bei **73** Deuteranomalen, 8 Protanomalen und in **20** Grenzfällen.

Ich gebe hier nur jene Fälle wieder, die ich seit Köllners Vortrag eingehend untersucht habe, da meine älteren Aufzeichnungen die erforderliche Genauigkeit vermissen lassen. Sie sind daher nur aus einem Bruchteile des gesamten Materiales ausgewählt und gestatten keine prozentuelle Berechnung über die Häufigkeit der Erscheinung. Ich würde sie eher höher einschätzen als Köllner.

Die **73** Deuteranomalen waren Fälle, welche bei kürzester Betrachtung nur die Deuteranomalen-Gleichung gelten ließen. Sobald sie aber mehrere Sekunden in den Apparat hineinblicken, nehmen sie auch weiter vermehrte Rot- oder Grün-Zumischung, beziehungsweise

beides, in wechselndem Ausmaße nicht mehr wahr. Läßt man sie kurz wegblicken, dann lehnen sie diese Ermüdungsgleichungen wieder ab, deren Farben jedoch bei längerem Hineinsehen abermals zusammenfließen.

Ganz ähnlich verhielten sich, von ihrer Gleichung ausgehend, die sechs Protanomalen.

In das Grenzgebiet stellte ich jene Fälle, die auf den ersten Blick nur die Normalengleichung anerkennen und unter dieser Bedingung jede weitere Rot- und Grün-Zumischung ablehnen, sie aber bei längerem Betrachten gelten lassen.

Die Grenzen, bis zu welchen die Rot- oder Grün-Zumischung, beziehungsweise beides, durch Ermüdung gesteigert werden konnte, ohne daß Ungleichung eintrat, sind in der folgenden Tabelle verzeichnet. Dieselben haben naturgemäß nur einen beiläufigen, beispielsmäßigen Wert, und es können sich bei Prüfungen zu verschiedenen Terminen leicht Verschiebungen nach einer oder der anderen Seite ergeben.

Form der Farbensinnstörung	Ermüdung für							Summe
	Rot rein	Grün rein	Rot u. Grün rein	Rot partiell	Grün partiell	Rot part. Grün rein	Rot part. Grün part.	
Deuteranomale	2	35	9	—	23	3	1	73
Protanomale	—	2	—	2	2	—	—	6
Grenzfälle	5	3	6	1	3	1	1	20
Summe	7	40	15	3	28	4	2	99

Ich fand somit die gesteigerte Ermüdbarkeit für Grün 68mal, für Rot 10mal, und für beide Farben in verschiedenem Ausmaße 21mal. Während Köllner diese Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit durch Ermüdung häufiger für Rot als für Grün beobachtete, zeigte sich mir das Gegenteil, und meine Zahlen nähern sich mehr der durchschnittlichen Häufigkeit der Grün- und Rotanomalen überhaupt. Ebenso war an meinem Material das Verhalten gegen die einfacheren Proben gerade umgekehrt, wie bei Köllner, indem die für Grün Ermüdbaren dabei am häufigsten versagten. Man kann daraus wohl nur den Schluß ziehen, daß zunächst noch zahlreichere Beobachtungen abgewartet werden müssen, ehe es möglich sein wird, hier nur einigermaßen verläßliche Beziehungen festzustellen und die dafür in Betracht kommenden Momente genauer auseinander zu halten.

Jedenfalls muß man aber dieser Erscheinung schon heute die eingehendste Aufmerksamkeit schenken, da sonst sowohl die Diagnosenstellung als die praktische Beurteilung leicht in falsche Bahnen geraten können. Wollte man z. B. Fälle mit Ermüdungsgleichungen zwischen homogenem Rot und Gelb oder Grün und Gelb, die (nach der abso-

luten Rayleigh-Gleichung) sowohl dem normalen, als dem anomalen System angehören können, unter die Dichromaten einreihen, so wäre dies ein zweifelloses Versehen. Die durchaus atypischen (meist höheren) Gelb-Intensitäten, welche die Beobachter für diese Scheingleichungen in der Regel verlangen, würden dieser Zuteilung ebenso bestimmt widersprechen, wie das keineswegs für Dichromasie charakteristische Verhalten bei den einfacheren Methoden. Auch Köllners oben mitgeteilte Äußerung, daß die *Li*: *Na*-Gleichung für die Diagnose Rotgrünblindheit nun nicht mehr maßgebend sei, ist wohl nur in diesem Sinne aufzufassen. Der Satz kann nur dann Giltigkeit beanspruchen, wenn es sich um Ermüdungsgleichungen handelt und auch das Ergebnis der anderen Proben nicht für Dichromasie spricht. Die absolute Rot:Gelb-Gleichung mit ihrer typischen Helligkeitsverteilung, in Übereinstimmung mit den für Farbenblindheit bezeichnenden Resultaten bei den sonstigen Verfahren behält dagegen nach wie vor ihre ausschlaggebende Bedeutung.

Hierher dürften meines Erachtens auch die angeblich spektralen Dichromaten zu rechnen sein, welche Nagels Tafelprobe flott bestehen, womit dann weiterhin die Unbrauchbarkeit dieser Tafeln zur Farbensinnprüfung überhaupt bewiesen sein soll. So erzählt Seydel[1]) von einem Lokomotivführer, der Nagels Tafelprobe rasch und fehlerlos bestand, aber am Farbengleichungsapparate die Gleichung eines „echten rechten Grünblinden" einstellte. Gemeint ist damit wohl die Rot:Gelb-Gleichung des Deuteranopen am Anomaloskope, welchen Namen mit Farbengleichungsapparat zu übersetzen nicht zulässig erscheint, weil diese Bezeichnung bereits für den älteren Apparat Nagels (mit farbigen Gläsern) vergeben ist. Daß ein wirklicher typischer Dichromat Nagels Tafelprobe flott bestehe, scheint mir ein Widerspruch im Prinzip, denn wer Rosa, Blaugrün und Grau auseinanderhalten kann, und das muß jeder, der Nagels Tafeln rasch zu lesen vermag, dürfte wohl niemals ein Dichromat sein, weil die Verwechslung dieser drei Farben eben das Wesen der Rotgrünblindheit ausmacht. Es wird sich in solchen Fällen wohl eher um Ermüdungsgleichungen gehandelt haben, die flottes Bestehen der Tafelproben keineswegs ausschließen, aber für die Einreihung in ein System nicht maßgebend sind; damit entfallen wohl auch die für die Brauchbarkeit der Nagelschen Tafeln daraus gezogenen Schlüsse. Der Fall ist als beweisend auch in die Diagnostik der Farbensinnstörungen von Stargardt und Oloff übergegangen, die selbst ähnliche Fälle gesehen haben. Auch Augstein[2]) erwähnt einen solchen.

[1]) Erfahrungen in der amtlichen Prüfung auf Farbentüchtigkeit. Zeitschrft. f. Bahn- und Bahnkassenärzte 1912, Nr. 2.

[2]) Bemerkungen zur Farbensinnprüfung, Zeitschft. f. Augenheilkunde. Bd. XXVIII, S. 349.

Zur praktischen Beurteilung dieser gesteigerten Ermüdbarkeit könnte man vielleicht einwenden, daß es sich im Eisenbahn- und Marinedienste um ein augenblickliches Erkennen der Signale handle, bei dem eine Ermüdungsreaktion nicht erst aufkommen könne. Für gesunde und ausgeruhte Menschen trifft dies zweifellos zu. Ob aber durch bedeutende, namentlich länger dauernde Anstrengungen, oder Erschöpfung infolge von Krankheiten, die als solche gerade keine Dienstuntauglichkeit bedingen müssen, neben der allgemeinen körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit (bei dazu Disponierten) nicht auch die Unterschiedsempfindlichkeit des optischen Aufnahmeorganes leiden könne, ist nicht so ohne weiteres von der Hand zu weisen. Ich hatte wenigstens Gelegenheit, einen besonders ausgesprochenen Fall dieser Art zu untersuchen, der nicht nur beide Anomalengleichungen annahm, sondern auch Scheingleichungen zwischen *Li* und *Na*, und *Tl* und *Na* erhielt, aber alles unter so außergewöhnlichen, durchaus atypischen Helligkeitsverhältnissen und in so unbestimmter und schwankender Weise, daß er außerhalb aller Systeme zu stehen schien; auch das Verhalten bei augenblicklicher Betrachtung oder längerem Hineinsehen brachte keine Klärung. Nagels und Stillings Tafeln, sowie der Gleichungsapparat waren in ihren Ergebnissen ebenfalls ganz unbestimmt. Als ich mich nach der unmittelbar vorausgegangenen Arbeitsleistung erkundigte (die Ermüdung war dem Manne anzusehen), hörte ich, daß derselbe einen zweimaligen anstrengenden Nachtdienst hinter sich hatte. Ich ließ ihn daher zunächst ausruhen und ordentlich ausschlafen und untersuchte ihn in diesem Zustande noch ein zweites- und drittesmal. Und siehe da, nun waren all die so ungewöhnlich abweichenden Gleichungen verschwunden, der Gleichungsapparat ergab normalen Befund, Nagel ging flott, nur Stilling machte geringe Schwierigkeiten, die aber kaum zu einer Beanstandung geführt hätten.

Seither habe ich es mir zur Regel gemacht, eine Überprüfung des Farbensinnes niemals nach anstrengendem Dienste oder einer Nachtfahrt vorzunehmen, sondern bestehe streng darauf, daß sich die Kandidaten ausgeruht und nach durchschlafener Nacht zur Untersuchung stellen. Dabei möchte ich ausdrücklich betonen, daß ich unter zahlreichen Geprüften nur einen einzigen ausgesprochenen Fall dieser Art beobachtete, und daß die bei ungenügendem Ergebnisse vielfach üblichen Ausflüchte auf vorausgegangene Überanstrengungen damit nicht das geringste zu tun haben.

6. Die Beziehungen zwischen anomaler Rayleigh-Gleichung und den sekundären Merkmalen.

Wir wollen uns nun den gegenseitigen Beziehungen dieser zwei Symptomengruppen zuwenden und dabei zu der Frage Stellung nehmen, was wir unter Farbenschwäche zu verstehen haben.

Man kannte seit langem neben den typischen Formen der Farbenblindheit leichtere Farbensinnstörungen mit geringergradigen Verwechslungen und Benennungsfehlern, als sie die Dichromaten aufweisen. Man sprach in solchen Fällen von schwachem, herabgesetztem Farbensinn oder mit Holmgren von unvollständiger Farbenblindheit, die dadurch charakterisiert galt, daß nur bei der Grünprobe, nicht aber bei der Rosaprobe Fehler gemacht wurden. Eine schärfere Begrenzung dieser Begriffe war mangels bestimmter Symptome nicht möglich, und man zählte zu diesen Gruppen alle Formen, die zwischen normalem Farbensinn und Farbenblindheit standen[1]).

Als dann durch Rayleighs Entdeckung mehrere Arten von Trichromaten bekannt wurden, die nach bestimmten Richtungen von dem großen Durchschnitte abwichen, war es naheliegend, danach zu forschen, wie sich dieselben zu den oben genannten Zwischenformen verhielten. Dabei hat man von allem Anbeginne das besondere spektrale Verhalten und die etwa nebenher laufenden Erscheinungen von Farbenschwäche genau auseinandergehalten.

Rayleigh glaubte zunächst nur eine besondere Art des normalen Farbensehens vor sich zu haben und konnte mit den verfügbaren Hilfsmitteln bei seinen Untersuchten keinerlei Farbenschwäche konstatieren.

Donders[2]) fragt nach Bestätigung der spektralen Eigentümlichkeiten der zweiten Kategorie von Trichromaten: „ist aber ihr Farbensinn im übrigen normal, wie Lord Rayleigh für seine Fälle annimmt? Wir finden das Gegenteil, alle vier hatten einen herabgesetzten Farbensinn."

v. Kries[3]) erklärte, er habe nach seinen Beobachtungen keine Anhaltspunkte dafür, daß die Anomalen im allgemeinen einen schwachen Farbensinn aufweisen würden. Lotze hielt sich im übrigen für farbentüchtig, während Levy nach praktischen Versuchen auf der Bahnstrecke die Meinung aussprach, daß Personen mit einem ähnlichen Farbensystem doch nicht als ganz vollwertig für den Eisenbahndienst gelten könnten. Beide Beobachter legten dabei den Hauptwert auf die Unterschiedsempfindlichkeit, die sie nicht herabgesetzt fanden; das Unvermögen, Stillings Tafeln zu entziffern, hielten sie nicht für wesentlich.

Nagel[4]), der als erster über ein größeres Material verfügte, sprach sich ursprünglich dahin aus, daß die weit überwiegende Mehrzahl jener Fälle, die man bisher als farbenschwach bezeichnet hatte, anomale Trichromaten waren; er hat aber niemals behauptet, daß Farbenschwäche stets auf anomal-trichromatischem System beruhe, und noch

[1]) Nagel, l. c. 250.
[2]) Farbengleichungen, S. 522.
[3]) Gesichtsempfindungen, S. 126.
[4]) l. c. Bd. XLI, S. 251.

weniger, daß diese Begriffe sich vollständig deckten. Er war es ja auch, welcher die außer der spektralen Anomalie vorhandenen Erscheinungen unter dem Namen der sekundären Merkmale zusammenfaßte und sie dadurch ausdrücklich von der spektralen Gleichung trennte, mit der Begründung, daß es bisher nicht gelungen sei, zwischen dem inneren Wesen dieses Systems und seinen sonstigen Eigentümlichkeiten einen ursächlichen Zusammenhang herzustellen.

Dagegen erklärte Guttmann[1]) den ganzen Symptomenkomplex für einheitlich und zusammengehörig und in seiner Gesamtheit nur für diese Art von abweichendem Farbensehen charakteristisch. Er schlug für die ganze Symptomengruppe die Bezeichnung Farbenschwäche vor, wollte nur mehr von Rot- und Grünschwäche sprechen und empfahl, den Ausdruck anomal ganz fallen zu lassen.

Nagel[2]) hat sich sofort sehr entschieden dagegen gewendet und den Vorschlag direkt als irreführend bezeichnet. In seiner Erwiderung spricht Guttmann[3]) nur mehr davon, die anomale Trichromasie auch als Farbenschwäche zu bezeichnen.

Der Vorschlag Guttmanns erregte von vornherein Bedenken. Es schien wohl kaum zweckmäßig, diesen schon an und für sich ganz unbestimmten Terminus, unter welchem man seit jeher das allerverschiedenste zusammengefaßt hatte, nun auf einmal zur Bezeichnung eines im ganz bestimmten Sinne abweichenden Verhaltens bei Einstellung der Rayleigh-Gleichung heranzuziehen. Während man die Unterscheidung der Dichromaten in Rot- und Grünblinde aus bekannten theoretischen Gründen ziemlich allgemein verlassen hatte, will Guttmann diese wenig glückliche Wortkombination als Rot- und Grünschwäche auf einem noch viel heikleren Gebiete wieder aufleben lassen, obwohl sie hier genau so anfechtbar und irreführend ist, wie dort. Denn auch bei den Unterformen der Anomalie handelt es sich keineswegs immer nur um Störungen im Rot oder Grün, sondern die Erregbarkeit ist auch hier meist für beide Farben herabgesetzt, wenngleich in verschiedenem Ausmaße. Zudem war die Bezeichnung „Anomalie" schon vorher von allen Autoren, die sich eingehender mit der Frage befaßt hatten, angenommen worden, und es lag nicht die geringste Veranlassung vor, den älteren, bereits eingebürgerten und das Wesen des Systems gut charakterisierenden Ausdruck gegen einen für diesen Zweck nichtssagenden neuen zu vertauschen.

Dagegen ist die Bezeichnung „Farbenschwäche" für gewisse Minderwertigkeiten des Farbensehens so allgemein im Gebrauche, daß man sie nicht gut entbehren kann. Und wenn man sich den ganzen

[1]) l. c. Bd. XLII, S. 34.

[2]) Zur Nomenklatur der Farbensinnstörungen, Bd. XLII, S. 66.

[3]) l. c. Bd. XLIII, S. 293.

Komplex sekundärer Symptome näher besieht, so ist nicht zu verkennen, daß er sich im großen und ganzen mit jenen Erscheinungen deckt, die man den oben genannten Zwischenformen zugeschrieben und gemeinhin als Farbenschwäche bezeichnet hatte. Wir folgen demnach nur einer längst hergebrachten Übung und belassen dem Worte Farbenschwäche seinen alten Inhalt, wenn wir die Gesamtheit der sekundären Erscheinungen unter diesem Terminus zusammenfassen, und die an den Anomalen gewonnenen Untersuchungsergebnisse bieten uns die sehr willkommene Möglichkeit, diesen Sammelbegriff in seine einzelnen Bestandteile aufzulösen, schärfer zu präzisieren und genauer zu umgrenzen. Wir werden also in diesem Sinne unter Farbenschwäche zu verstehen haben: die herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne verschiedener Wellenlänge; die Erhöhung der Raum- und Zeitschwelle; die größere Abhängigkeit von der Intensität, von Helligkeits- und Sättigungs-Differenzen (sowohl einzelnen, als namentlich mehreren Lichtern gegenüber); den gesteigerten Kontrast und die raschere Ermüdung.

Aber noch mehr als theoretische Erwägungen drängen die Bedürfnisse der Praxis zu einer Auseinanderhaltung und gesonderten Beurteilung der zwei Symptomenreihen. Die fortschreitende Erfahrung lehrt nämlich immer bestimmter, daß der siebenteilige Symptomenkomplex Guttmanns kein einheitlicher ist, und daß die sekundären Merkmale keineswegs untrennbar und in ihrer Gesamtheit an das eigenartige spektrale Verhalten gebunden sind, sondern trotz ausgesprochen anomaler Rayleigh-Gleichung in verschiedener Zahl und wechselndem Ausmaße vorhanden sein, ja auch ganz fehlen können. Ebenso kommt das Umgekehrte vor: Zeichen von Farbenschwäche bei normaler Rayleigh-Gleichung.

Nagel[1]) hat bereits 1907 in seiner Kritik des Guttmannschen Vorschlages, Anomalie durch Farbenschwäche zu ersetzen, einen Fall erwähnt, der wohl die typischen Erscheinungen der Farbenschwäche ausgeprägt zeigte (Unsicherheit im Erkennen von Grün, Unsicherheit in allen Farben bei sehr kleinem Gesichtsfeld oder geringer Intensität, teilweises Versagen gegen Stillings Tafeln), aber bei der Untersuchung mit dem Spektralapparate unzweifelhaft normales trichromatisches System aufwies.

Im Jahre 1909 untersuchte Nagel[2]) das Rostocker Infanterie-Regiment am Anomaloskope. Unter den zahlreichen Anomalen, die er dabei konstatierte, fielen ihm einige dadurch auf, daß sie die Erscheinungen des gesteigerten Kontrastes entweder gar nicht

[1]) Zur Nomenklatur der Farbensinnstörungen, S. 65.

[2]) Briefliche Mitteilung an den Verfasser. Wien. klin. Wochenschr. 1909, Nr. 24.

oder nur in Andeutung zeigten. Andere wieder machten an seinen Tafeln keine Fehler, sondern antworteten schnell und richtig. Man müsse demnach feststellen, daß es anomale Trichromaten gebe, die nicht als farbenschwach in dem üblichen Sinne zu bezeichnen seien und die nicht unter die Rubrik der Farbenuntüchtigen fallen. Nach mündlicher Mitteilung hatte Nagel damals unter insgesamt 8·7% Farbenuntüchtigen (i. e. Dichromaten und typisch Anomalen) 6 solche nicht farbenschwache Anomale gefunden.

Ich selbst teilte an gleicher Stelle einen eigenen derartigen Fall mit, der sich am Anomaloskope als typisch deuteranomal (mit Ermüdungserscheinungen) erwies, aber alle sonstigen Zeichen von Farbenschwäche vermissen ließ und speziell die Tafelproben von Nagel und Stilling tadellos bestand. Weitere Fälle folgten bald. Ich schlug damals vor, für praktische Zwecke zu unterscheiden:

a) Typische Anomalien = anomale Rayleigh-Gleichung mit ausgesprochenen sekundären Merkmalen.

b) Rein spektrale Anomalien = anomale Rayleigh-Gleichung ohne sekundäre Symptome (Farbenschwäche).

c) Farbenschwäche (= sekundäre Merkmale) bei normaler Rayleigh-Gleichung.

Gruppe *a)* umfaßt die weitaus überwiegende Mehrzahl der Fälle, während man *b)* und *c)* nur seltener beobachtet. Die zahlenmäßigen Belege folgen später.

Auch Köllner[1]) kommt in seinem Lehrbuche der Farbensinnstörungen zu dem Resultate, daß anomale Trichromasie und Farbenschwäche zunächst zwei verschiedene Begriffe seien, und will unter letzterer ebenfalls den Gesamtkomplex der sekundären Eigenschaften verstanden wissen. Meistens seien beide Erscheinungen zugleich vorhanden, bei einem kleinen Teile der Beobachter finde man aber auch Symptome von Farbenschwäche bei normaler Rayleigh-Gleichung, und umgekehrt abweichende Gleichung ohne nachweisbare Farbenschwäche. Diese Disparität sei vielleicht nur eine scheinbare und alle Farbenschwachen in Wirklichkeit doch anomale Trichromaten, auch an der Rayleigh-Gleichung; er beruft sich dabei auf seine Untersuchungen über die Ermüdbarkeit bei der Farbenunterscheidung, die eben genauer besprochen wurden. Ebenso könnten alle Anomalen in der Tat doch farbenschwach sein, wir aber außer Stande, dies mit unseren derzeitigen Hilfsmitteln nachzuweisen. Solange diese Frage nicht endgiltig geklärt sei, werde man gut tun, sowohl rein Anomale als Farbenschwache zu den Farbenuntüchtigen oder wenigstens Zweifelhaften zu rechnen. Die Beziehungen zwischen Farbenschwäche und

[1]) S. 51 und ff.

Einstellung der Rayleig-Gleichung werden eingehend dargelegt und für den Fall getrennten Vorkommens zwei Formen unterschieden:

a) Anomale Rayleigh-Gleichung ohne Zeichen von Farbenschwäche.

b) Farbenschwäche, falls sie bei normaler Rayleigh-Gleichung beobachtet wird.

Köllner fügt bei, daß er bei genauer Untersuchung von Fällen der zweiten Gruppe mit Spektralfarben doch gefunden habe, daß Sättigungsunterschiede nicht erkannt wurden, welche dem Normalen sonst durchaus auffallen. Diese „relativ Farbenschwachen unter den Farbentüchtigen" hätten freilich kein praktisches Interesse, da sie eben die üblichen einfacheren Prüfungsmethoden bestehen und für gewöhnlich kaum erkannt werden.

Diese Ausführungen genügen wohl zur Begründung der Forderung, die zwei Erscheinungsreihen, wo sie für sich vorkommen, auch besonders zu bezeichnen und einzuschätzen und die betreffenden Ausdrücke nicht promiscue für den ganzen Symptomenkomplex zu gebrauchen. Es dürfte sich empfehlen, das Vorkommen von anomaler Rayleigh-Gleichung mit gleichzeitigen sekundären Merkmalen unter der Bezeichnung typische Anomalie oder Anomalie schlechthin zusammenzufassen und, wo die Erscheinungen getrennt vorkommen, von spektraler Anomalie und Farbenschwäche zu sprechen. Auf diese Weise können wir uns leicht über den Befund verständigen und erhalten zugleich eine brauchbare Grundlage für die praktische Beurteilung. Theoretisch ist damit gar nichts präjudiziert, sondern nur der Standpunkt unserer heutigen Erfahrung festgehalten, und selbst wenn sich herausstellen sollte, daß tatsächlich alle Anomalen farbenschwach sind und umgekehrt, so geben uns die zwei Termini noch immer eine sehr treffende Bezeichnung des doppelten Symptomenkomplexes, da ein absolutes Parallelgehen wohl auch in diesem Falle kaum zu erwarten ist.

Am Schlusse dieses Kapitels mögen noch einige allgemeine Regeln für die Farbensinnprüfung Platz finden.

Vor jeder Untersuchung stelle man die eigene normale Gleichung ein.

Man sagt dem zu Prüfenden, daß er eine beleuchtete runde Scheibe sehen werde, deren obere und untere Hälfte von verschiedener Farbe und Helligkeit sein können. Die farbigen Ränder der oberen Halbscheibe und der Trennungslinie hätten nichts zu bedeuten und blieben unberücksichtigt. Meist werde es darauf ankommen, genau acht zu geben und sofort anzusagen, wenn beide Hälften unter einander vollkommen gleich erscheinen, beziehungsweise werde dies durch eigene Einstellung zu besorgen sein. „Gleich" heiße niemals „wie vorher", sondern beide

Hälften „unter einander", so daß die ganze Scheibe genau in einer Farbe erscheine. Die Größe der Felder bleibe immer dieselbe.

Das nicht geprüfte Auge wird am besten zugehalten, aber nicht länger, als notwendig ist.

Man lasse zunächst nur möglichst kurz in den Apparat hineinblicken. Lauten dabei die Angaben bestimmt und zutreffend, so kann man auf scharfe Einstellungen rechnen und wird rasch zum Ziele kommen. Ist bei kürzester Betrachtung keine Gleichung zu erzielen, dann läßt man mehrere Sekunden lang beobachten und wird so oft noch zu einer befriedigenden Gleichung kommen. Doch ist in diesem Falle immer mit dem ausgeruhten Auge nachzuprüfen, um den Charakter dieser Gleichungen als Ermüdungserscheinung festzustellen. Tritt die Gleichheit erst nach längerer Zeit ein — Köllner[1]) gibt als Maximaldauer etwa 10 Sekunden an — dann darf man nicht mehr von „Gleichung" sprechen. Für Selbsteinstellungen gelten die gleichen Gesichtspunkte.

Weiter sei an eine wichtige Grundregel erinnert, die uns aus Nagels Anweisung zum Gebrauche seiner Tafeln sehr wohl bekannt ist, die man sich aber nicht oft genug vorsagen kann.

„Wenn die Fragen an den zu Untersuchenden in barscher, schroffer Weise gestellt werden, und der Untersuchende bei einem zögernden Verhalten des Untersuchten Ungeduld zeigt oder dessen Angaben in schroffem Tone kritisiert, verliert diese Untersuchungsmethode (wie jede sinnesphysiologische Untersuchung in gleichem Falle) jeglichen Wert. Ein Arzt, der nicht imstande ist, selbst einem äußerst ungeschickten, ja einem offenbar simulierenden Untersuchten gegenüber volle Ruhe zu bewahren, kann keine zuverlässigen Diagnosen bei Sinnesanomalien stellen."

Endlich möchte ich noch auf einen wesentlichen Punkt verweisen, der ebenfalls in Nagels Anweisung schon hervorgehoben ist. Man vermeide es strengstens, sowohl während der Prüfung als nachträglich, dem Untersuchten Einzelheiten über seine unrichtigen Angaben mitzuteilen oder sie ihm gar zu demonstrieren; man würde dadurch nur sich selbst sowie allen Nachfolgern die Aufgabe bedeutend erschweren, und einzelne Erscheinungen, wie z. B. der gesteigerte Kontrast, können scheinbar ganz wegfallen, indem sie einfach nicht mehr angegeben werden[2]).

[1]) Anleitung . . . S. 151.

[2]) Siehe oben, S. 100.

IV. Spezielle Methodik der Farbensinnprüfung.

Die nähere Methodik war bisher bei den einzelnen Prüfern etwas rein individuelles, indem darüber kaum noch eine Aussprache stattgefunden hat, geschweige denn, daß eine Einigung auch nur über allgemeine Grundsätze erfolgt wäre. Es mußte sich eben jeder, der nicht das Glück einer sachverständigen Anleitung hatte, helfen, so gut es ging, und sich seine eigene Methode zurechtlegen, dabei allerdings auch die Kosten seiner Irrtümer tragen.

Die hier zunächst interessierende Frage ist wohl folgende: soll man fixe Durchschnittsgleichungen zur Beobachtung darbieten oder die individuellen Gleichungen aus beliebiger freier Einstellung suchen lassen? Dazu kann man sich gegenwärtig nur referierend verhalten und die aus eigener Erfahrung geschöpfte Meinung vorbringen. Und da würde ich aus mehrfachen Gründen das erstgenannte Verfahren für das zweckmäßigere halten. Es gestattet eine raschere Orientierung bei den laufenden Untersuchungen, und namentlich der Anfänger wird sich damit schneller und sicherer zurechtfinden. Die Anlehnung an die Ziffern anderer und die gefundene Übereinstimmung mit denselben werden ihm eine wesentliche Stütze sein, ihre eventuelle Korrektur lebhafte Anregung bieten. Eine beträchtliche Anzahl typischer Fälle läßt sich auf diese Weise gleich kurzer Hand erledigen, und wo diese Mittelgleichungen nicht angenommen werden, dort wird er, von ihnen als sicherer Basis ausgehend, die abweichenden Gleichheitsbedingungen des Einzelfalles leichter finden; die bei Betrachtung der Durchschnittsgleichungen gebrauchten Farben- und Helligkeitsbezeichnungen werden ihm meist die Richtung weisen, in welcher die Gleichung zu finden ist.

Dabei verhehle ich mir nicht im entferntesten, daß alles Schematisieren gewisse Nachteile in sich birgt und namentlich bei bequemen Prüfern zu einer gewissen Erstarrung der Methodik führen kann, die in mancher Beziehung sehr gerechtfertigte Bedenken erweckt. Doch möchte ich diese Gefahr nicht hoch einschätzen, da wir auf dem frag-

lichen Gebiete noch so ziemlich in den Anfängen stehen, und unsere Hauptaufgabe zunächst nur dahin geht, möglichst viel verwendbares Beobachtungsmaterial herbeizuschaffen. Der gewissenhafte und auf eigenen Füßen stehende Prüfer kann seine Diagnose nach wie vor in beliebiger Weise suchen und finden, und er wird in seiner Bewegungsfreiheit nicht im geringsten beeinträchtigt, wenn er nebenher auf das Vorhandensein von Durchschnittsgleichungen achtet, nach denen ohnehin jede Methodik mehr weniger automatisch hindrängt. Und wem es vor allem darauf ankommt, rasch fertig zu werden, der wird vielleicht ebenfalls weniger Fehler begehen, wenn er sich an ein schon vielfach erprobtes und bewährtes Verfahren hält, als wenn er ganz nach freiem Ermessen schaltet.

Angesichts dieser Vorteile könnte es der Sache nur förderlich sein, wenn man der Frage der Durchschnittsgleichungen in weiteren Kreisen näher treten wollte, denn ihr tatsächliches Bestehen, sowie die Zweckmäßigkeit ihrer Verwendung zu einer raschen und verläßlichen Diagnose ist erst noch an großem Material zu erweisen. Die Arbeit und Erfahrung einzelner reichen hiezu nicht aus, da sie immer nur relativ beschränkt sein können und die Ergebnisse nur zu leicht durch Zufälligkeiten aller Art, persönliches Befangensein in vielleicht einseitigen Anschauungen, Untersuchungsfehler, Benützung verschieden geeichter Apparate usw. beeinträchtigt werden. Erst spätere Bearbeiter, die größere, an absolut gleichen Präzisionsinstrumenten gewonnene Zahlenreihen überblicken und verarbeiten, werden bei reicherer Erfahrung und geläutertem Wissen die nötige Unbefangenheit aufbringen, um hier das dauernd Wertvolle vom Problematischen zu scheiden.

Um nun das Riesenmaterial der Eisenbahnen, der Marine und des Heeres, welches zur Klärung dieser Fragen leicht nutzbar gemacht werden könnte, diesem Zweck wirklich dienlich zu gestalten, müßte man sich wenigstens über gewisse allgemeine Grundsätze einigen, sonst läßt sich aus noch so wertvollen Einzelstücken kein brauchbares Ganze zusammenfügen. Auf was es mir dabei hauptsächlich anzukommen scheint, habe ich bereits an mehreren Stellen hervorgehoben.

Zum Wesen einer Durchschnittsgleichung gehört vor allem, daß die Einstellungen für beide Felder wiedergegeben, also die Spaltweiten sowohl für das Misch- als das Vergleichslicht angeführt werden, denn erst aus beiden Zahlen kann man annähernd die gleiche Farbenkombination herstellen. Weiterhin dürfte es sich empfehlen, bei ihrer Ermittlung für die einzelnen Formen von bestimmten Gelbintensitäten auszugehen und diese erst dann zu verlassen, wenn mit denselben überhaupt keine Gleichung zu erzielen ist. Stellt man das Mischlicht fest ein und verändert die Helligkeit des Gelb, so kommt man wieder zu ganz anderen Zahlen, die an und für sich ebenso richtig

sind, aber mit den erstgenannten nicht direkt verglichen werden können. Auch ergeben sich im allgemeinen aus der verschiedenen Zusammensetzung des Mischlichtes, das zur Gleichung mit einem bestimmten Gelb verlangt wird, mehr für die Diagnose des Einzelfalles verwertbare Anhaltspunkte, als bei dem umgekehrten Vorgehen.

Minder wichtig erscheint mir die Frage, ob man die Einstellung selbst besorgen oder von dem Beobachter vornehmen lassen solle. Die meisten Prüfer werden wohl das erstgenannte Verfahren vorziehen, weil es so wesentlich einfacher und schneller geht. Viele Beobachter finden schon den Okularspalt schwer und stoßen, wie Köllner[1]) sehr zutreffend bemerkt, erst eine Weile mit dem Nasenrücken am Okular herum, bis sie die beleuchtete Scheibe finden (namentlich das Beobachten mit dem linken Auge fällt den meisten Menschen schwer) und verlieren sie sofort wieder, wenn sie gleichzeitig mit gestrecktem Arme eine entferntere Schraube dirigieren sollen. Dann machen sie zumeist gleich ganze Umdrehungen, und es dauert wieder eine gute Weile, bis sie lernen, daß es nur auf ganz geringe Verschiebungen ankomme. Dabei besteht außerdem die Gefahr, das Instrument durch gewaltsame Drehungen zu beschädigen. Es dürfte also im allgemeinen wohl zweckmäßiger sein, die Stellschrauben selbst in der Hand zu behalten; doch kommen Situationen vor, welche die Selbsteinstellung zur Behebung von Zweifeln, zum Zwecke der Kontrolle usw. unbedingt erfordern; vor ihren Nachteilen muß man sich dann durch entsprechende Belehrung schützen.

Guttmann[2]) äußert sich zu dieser Frage wie folgt: „Ein Autor, der (wie z. B. Donders) die U.-E.[3]) prüfte, indem er Einstellungen des Experimentators seitens der Anomalen beurteilen ließ (Methode der richtigen und falschen Fälle), hat andere Werte mit geringeren Abweichungen erhalten, als wer die Gleichungen einstellen ließ (Methode der mittleren Fehler). Welche von beiden Methoden die wahre U.-E.-Schwelle des Anomalen gibt, ist diskutabel; jedenfalls muß man sich davor hüten, Resultate, die mit der einen Methode gewonnen sind, gegen Resultate der anderen Methode auszuspielen, respektive sie in Beziehung zu diesen zu setzen. Wie mir scheint, kommt in der Methode der Einstellungen der verminderte Farbensinn des Anomalen besser zum Ausdruck, als in der Methode der Beurteilung von Einstellungen. Nach letzterer Untersuchung erhält man allerdings die U.-E. des Anomalen für Farbentöne sozusagen isoliert." Dabei hat Guttmann in erster Linie die durch Zunahme der Ermüdung bedingte Unsicherheit im Auge.

Die Reihenfolge, in der man die einzelnen Farbenzusammenstellungen betrachten läßt, ist ziemlich gleichgiltig, die Anordnung muß nur so getroffen sein, daß wesentliche Irrtümer in der Diagnose ausgeschlossen sind. Im ganzen und großen wird sich der Gang des Examens wohl danach richten, ob man dem Einzelfalle noch vollkommen unbefangen gegenübersteht und die Prüfung gleich am Ano-

[1]) Die Störungen des Farbensinnes, S. 72.

[2]) l. c. Bd. XLIII, S. 207.

[3]) U.-E. = Unterschiedsempfindlichkeit.

maloskope beginnt, oder ob schon Untersuchungen mit anderen Methoden vorausgegangen sind, welche mehr weniger bestimmte Hinweise auf die zu gewärtigende Form von Farbensinnstörung gebracht haben. Häufig liegen auch schon Äußerungen der voruntersuchenden Ärzte bei, die eine ganz bestimmte Differentialdiagnose verlangen und dann für das weitere Vorgehen richtunggebend sind. Immer aber wird die Untersuchung so einzurichten sein, daß man das vorgesteckte Ziel auf möglichst direktem und sicherem Wege erreicht. Daß dabei den theoretischen Grundlehren und differentialdiagnostischen Kriterien der einzelnen Formen immer und überall vollauf Rechnung getragen werden muß, bedarf kaum einer besonderen Betonung. Wer also z. B. auf die bloße Anerkennung der Normalengleichung hin normalen Farbensinn bestimmen, oder auf Grund einer zufälligen Ermüdungsgleichung die Einreihung in ein System vornehmen wollte, der könnte großen Täuschungen unterliegen.

Die häufigste Form der Farbensinnstörung ist die Deuteranomalie. Weiß man also von einem Falle noch gar nichts, so erscheint es mir nicht unzweckmäßig, den Gang der Untersuchung so einzurichten, daß man diesen Typus gleich möglichst sicher faßt. Es wird sich bald zeigen, daß dieser Weg auch so nahe an allen anderen Formen vorbeiführt, daß man sie ohne weitere Umschweife gleich mit herausfinden kann.

Man erreicht dieses Ziel (i. e. zunächst die Feststellung der Deuteranomalie) sehr einfach, wenn man die drei Rayleigh-Gleichungen in nachstehender Reihenfolge betrachten läßt.

Zuerst bietet man die Protanomalen-Gleichung (**68 : 10**, Rot : Gelb) dar, welche von den Deuteranomalen wegen Kontraststeigerung so gut wie immer Rot : Grün genannt wird. Darin liegt schon ein wesentlicher Hinweis auf eine Abweichung von der Norm.

An zweiter Stelle läßt man die Deuteranomalen-Gleichung (**47 : 19**, Grün : Gelb) betrachten, die entweder sofort anerkannt wird, oder man merkt wenigstens aus den zu ihrer Beschreibung gebrauchten Farben- und Helligkeitsbezeichnungen, daß dazu nicht viel fehle. Das grüne Mischlicht wird dabei in der Regel gelb genannt, und die angegebenen Helligkeitsunterschiede lassen sich leicht durch Vermehrung des Rot- oder Grünanteiles ausgleichen. Erweist sich dies als unmöglich, dann verändert man sinngemäß und allmählich die Gelbintensität und immer wieder das Mischlicht so lange, bis die Gleichung erzielt ist. Damit sind die zwei wichtigsten Kennzeichen des gesuchten Typus (die charakteristische Rayleigh-Gleichung und die Kontraststeigerung) festgestellt, und es bleibt nur noch das Verhalten gegen die Normalengleichung zu ermitteln. Dieses ist von besonderer Wichtigkeit, weil Dichromaten bisher genau so wie Deuteranomale antworten können; erst von

da ab scheiden sich die Wege. Während die Anerkennung der Normalengleichung mit zum Wesen des Zweifarbensystems gehört, wird dieselbe von den Anomalen in der Regel abgelehnt, es sei denn, daß gesteigerte Ermüdbarkeit vorhanden ist.

Man zeigt also noch die Einstellung des Normalen (**59**:**16**), (beziehungsweise mit anderen für das jeweilige Instrument geltenden Zahlen), welche der Deuteranomale wegen Kontraststeigerung (ebenso wie die Protanomalen-Gleichung) Rot : Grün nennt. (Der erste Farbenname gilt immer für die obere, der zweite für die untere Feldhälfte.) Damit steht die Diagnose der Deuteranomalie so gut wie fest, da eine gleiche Kombination von Farbengleichheit und Benennung kaum bei einer anderen Form von Farbensinnstörung vorkommt. Zu achten ist nur darauf, daß die Deuteranomalen-Gleichung unter allen Umständen, also auch mit ausgeruhtem Auge, angenommen wird.

Wird das Mischungsverhältnis um **47** als zu hell oder grünlich bezeichnet und durch Aufhellung des Gelb keine Gleichung erzielt, dann kehrt man am besten zur Gelbintensität von **19** zurück und versucht, die Gleichung durch Vermehrung des Rotanteils herzustellen. Kommt man dabei über **50** hinaus bis etwa **55**, ehe Gleichung eintritt, so liegt eine leichte Deuteranomalie vor, die oben (S. 83) bereits näher gekennzeichnet wurde.

Zur Vervollständigung des Befundes müssen nur noch die Unterschiedsempfindlichkeit und die Ermüdbarkeit festgestellt werden, Ermittlungen, die teilweise zusammenfallen.

Die Unterschiedsempfindlichkeit prüfen wir durch die Schärfe der Einstellung, indem man nachsieht, in welchem Umfange die Rot- oder Grünkomponente erhöht werden kann, ohne daß Ungleichung eintritt. In der Mehrzahl der Fälle ist die Einstellung eine so scharfe, daß Veränderungen um 1 bis 2 Teilstriche auf oder ab schon Helligkeits- oder Farbenunterschiede bedingen. Ist die Unterschiedsempfindlichkeit stärker herabgesetzt, dann werden auch die Einstellungen unscharf und sie können bei gleich bleibender Gelbintensität eine Breite bis zu zehn Teilstrichen einnehmen. Mit Veränderungen des gelben Vergleichslichtes wird sich diese Strecke im Bereiche der Skala entsprechend verschieben. Da derartige Feststellungen meist etwas längere Zeit in Anspruch nehmen, muß man sich nach Möglichkeit vor dem Einflusse der Ermüdung schützen, darf also nicht zu kleine Schritte in der Rot-Grünzumischung machen und nur kurz betrachten lassen.

Ist auch die Ermüdbarkeit gesteigert, dann sinkt mit ihrer Zunahme die Unterschiedsempfindlichkeit noch weiter, und man kommt namentlich bei allmählicher Änderung des Mischlichtes und beständiger Anpassung der Gelbintensität, durchaus nicht selten zu Gleichungen mit homogenem Rot oder Grün oder beiden, also zu einer Einstellungs-

breite, die von **0** bis **73** reichen kann. Ebenso läßt sich die Empfindlichkeit gegen Veränderungen des gelben Vergleichslichtes feststellen, was jedoch praktisch wenig Interesse hat. Daraus ergibt sich, daß man unter „Einstellungsbreite" hier wesentlich verschiedene Befunde zusammenfassen kann, und es ist gut, sich das stets gegenwärtig zu halten und bei Gebrauch des Wortes kurz beizufügen, was man damit meint.

Die Ermüdungsreaktion prüfen wir in der Weise, daß wir den Rotanteil des Gemisches auf **63** bis **65** der Skala erhöhen und versuchen, ob bei irgendeiner Helligkeit des Gelb Gleichung zu erzielen ist. Die dazu erforderliche Drehung der unteren Trommel dauert immerhin einige Sekunden, die hinreichen, eventuelle Ermüdungserscheinungen hervortreten zu lassen. Sind solche vorhanden, so wird bei irgendeiner Gelbintensität Gleichung angegeben. Nun läßt man kurz wegblicken, und dieselbe Gleichung nochmals (oder mit dem ausgeruhten anderen Auge) betrachten. Da stimmt es schon nicht mehr, sondern die zwei Hälften werden wieder als verschieden farbig oder hell bezeichnet; bei längerem Hineinblicken verschwindet die Differenz abermals, und die ganze Scheibe wird einfarbig. Dadurch sind derartige Gleichungen mit genügender Sicherheit als Ermüdungserscheinungen charakterisiert. Nun steigert man die Rotzumischung allmählich bis zum homogenen *Li*-Rot und versucht immer wieder, ob noch Gleichung mit irgendeinem Gelb zu erzielen ist. Das hört nun entweder bei einer gewissen Grenze auf, oder man erhält selbst mit reinem Rot Gleichung.

Die gleiche Feststellung muß man für Grün vornehmen. Man beginnt z. B. bei einem Mischungsverhältnis von **43** bis **40** und erhöht den Grünanteil allmählich bis zur Einstellung des reinen Grün; dabei ergibt sich in ganz gleicher Weise, ob und bis zu welcher Grenze noch Gleichung mit Gelb zu erzielen ist.

Die Sprünge, die man dabei in der Rot- und Grünzumischung machen kann, hängen ganz von den speziellen Verhältnissen des Falles ab und ergeben sich leicht aus den Farbenbezeichnungen des Beobachters. Gegen das reine Lithium zu werden die Abstufungen naturgemäß kleiner zu nehmen sein, da sich hier die Wellenlängen rascher ändern und überhaupt nur ein relativ geringer Spielraum zur Verfügung bleibt.

In der Mehrzahl der Fälle findet man die Systemgleichung sehr leicht, die Einstellungen sind scharf und nennenswerte Ermüdungserscheinungen nicht vorhanden. Ein andermal setzt die Gleichheit wohl innerhalb der durchschnittlichen Grenzen ein, sie ist aber nach der Seite des Grün hin unscharf, und bei längerem Betrachten, sowie Anpassen der Gelbintensität, werden auch weitere Grünzumischungen als Gleichung angenommen. Das gleiche kann sich nach der Seite des Rot hin ergeben. Wieder ein andermal ist bei kürzester Betrachtung über-

haupt keine Gleichheit zu erzielen, sondern es wird auch die Systemgleichung erst bei längerem Hineinblicken angenommen und nach kurzem Ausruhen wieder abgelehnt. Es ergeben sich so die mannigfaltigsten Kombinationen, die man nur andeuten kann, sonst wird die Beschreibung eine verwirrende. Es ist nicht schwierig, die einzelnen Formen sowohl zum eigenen Gebrauche, als zur gegenseitigen Verständigung, kurz zu kennzeichnen; wir können z. B. in den eben genannten Fällen sprechen von: typischer Anomalie; Anomalie mit Ermüdung für Grün, Rot oder beides, partiell oder total; Anomalie durch Ermüdung.

Bei einem derartigen Vorgehen wird man wohl nicht leicht eine Gleichheitsbedingung übersehen, wenn sie auch noch so weit von den Mittelwerten abliegen sollte. Ich würde es dabei für sehr empfehlenswert halten, die absoluten und Ermüdungsgleichungen nach Möglichkeit auseinanderzuhalten, weil sonst die Orientierung recht schwer werden kann und auch die Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Tafelproben nicht immer leicht herzustellen sein dürfte.

Läßt sich für eines oder das andere oder für beide Mischlichter eine gesteigerte Ermüdbarkeit nachweisen, dann ist die Störung jedenfalls schwerer einzuschätzen, weil eben eines der sekundären Merkmale besonders stark ausgesprochen ist. Erhält man selbst mit den homogenen Mischlichtern Gleichung, dann muß man sich vor Verwechslungen mit Dichromasien in acht nehmen. Entscheidend ist, daß die Gleichheit erst bei längerem Hineinblicken, sowie bei wesentlich höheren, meist auch wechselnden Gelbintensitäten eintritt und nach kurzem Wegblicken sofort verschwindet, während der Dichromat diese Gleichungen immer nur bei einer bestimmten und weitaus niedrigeren Gelbintensität sofort annimmt und längeres Betrachten oder Wegsehen nicht das geringste daran ändern.

Weiterhin ist für diese Unterscheidung das Verhalten an Nagels Tafeln von Bedeutung. Anomale begehen hier nur die typischen Grün-Grau- und Braun-Verwechslungen und weisen meist gesteigerten Kontrast auf; sie verwechseln aber niemals Gelbgrün und selten Gelbbraun mit Rot. Die Dichromaten machen auch Fehler im Rot, indem sie es mit Grau, Gelb und Braun verwechseln, und lassen die erhöhte Kontrastwirkung (wenigstens zentral) vermissen. Stillings Tafeln sind zu einer derartigen Differentialdiagnose nicht verwendbar, da sie in beiden Fällen nicht gelesen werden und Zahl und Art der nicht entzifferten Zeichen keine Anhaltspunkte für eine Unterscheidung der Systeme bieten. Durch große Übung und beständige Kontrolle am Anomaloskope lernt man zwar auch hier aus der Art, wie diese oder jene Tafel oder einzelne Zahlen derselben entziffert werden oder nicht, gewisse wertvolle Schlüsse auf die nähere Beschaffenheit des Farbensinnes ziehen, aber sie lassen

sich schwer in Worte fassen, weil sie mehr weniger individuell bleiben und auch keine absolute Giltigkeit haben, indem man sie da bestätigt findet und dort wieder nicht.

Erhält man die Gleichung mit reinem Grün nicht erst durch Ermüdung, sondern sofort und unter allen Umständen, während vermehrte Rotzumischung unter diesen Verhältnissen abgelehnt wird, so hat man einen extrem Deuteranomalen vor sich, der dann das *Tl*-Grün, isoliert gezeigt, meist gelb oder farblos nennt. Auch bei diesen schwereren Formen können Ermüdungserscheinungen gegen vermehrte Rotzumischung vorhanden sein. Die Unterscheidung solcher Extremen von Dichromaten ist dadurch gegeben, daß sie die Rot: Gelb-Gleichung dieses Systems nicht annehmen und sich an Nagels Tafeln wie Anomale verhalten; doch kommen hier gelegentlich auch Rotverwechslungen vor.

Das Betrachtenlassen dieser drei Mischungsgleichungen gestattet in ebenso verläßlicher Weise die Erkennung der Protanomalen und Normalen.

Der Protanomale wird die Gleichung **68 : 10** entweder sofort anerkennen oder nur von Helligkeitsunterschieden sprechen, die man durch vorsichtiges Drehen der Natrium-Stellschraube ausgleicht; sollte das nicht gelingen, dann muß man selbstverständlich auch das Mischlicht je nach den Angaben des Beobachters so lange verändern, bis das Ziel erreicht ist. Die Deuteranomalen- und Normalen-Gleichung nennt er infolge von Kontraststeigerung meist grün: rot. Auch in diesem Falle wird man untersuchen, ob und in welchem Ausmaße gesteigerte Ermüdbarkeit für eines oder beide Mischlichter nachzuweisen ist; wo dies nicht zutrifft, pflegt die Einstellung eine sehr scharfe zu sein. Damit ist die Diagnose eines typischen Falles von Protanomalie gesichert.

Erzielt man durch entsprechende Regulierung des Gelb sofort auch Gleichung mit reinem *Li*-Rot, während eine Vermehrung der Grünkomponente nicht angenommen wird, so sprechen wir von extremer Protanomalie. Ermüdungsreaktion gegen vermehrte Grünzumischung kann auch hier in verschiedenem Ausmaße bestehen. Die Trennung von Protanopie erfordert ganz besondere Vorsicht und gründet sich, außer auf das abweichende Verhalten an Nagels Tafeln und bei Holmgrens Wollprobe, hauptsächlich auf das Fehlen der Grün : Gelb-Gleichung sowie der neutralen Strecke im Spektrum. Da aber auch die letzteren Symptome gelegentlich schwanken, so kann es vorkommen, daß man einen Fall bei wiederholten, weiter auseinander liegenden Untersuchungen bald als extrem protanomal, bald als protanopisch bestimmt, was um so leichter verständlich wird, als bei diesen extremen Formen auch an Nagels Tafeln nicht selten Rotverwechslungen vorkommen. Praktisch ist diese Abgrenzung allerdings nur von

geringer Bedeutung, da zweifellos in beiden Fällen Farbenuntüchtigkeit besteht.

Die Mannigfaltigkeit der Formen ist bei der Protanomalie eine wesentlich geringere, oder vielleicht richtiger gesagt, bei der Seltenheit der Fälle noch nicht genügend erforscht. Die Prinzipien für ihre Gliederung wären die gleichen wie bei den Deuteranomalen.

Werden beide Anomalengleichungen unter objektiv richtiger Farbenbenennung rasch und prompt abgelehnt, die Normalengleichung (**59 : 16**) aber sofort, beziehungsweise mit den zulässigen geringen Veränderungen, angenommen, dann können wir auf normales System schließen. Vermehrungen des Rotanteiles um **1** bis **2** Intervalle (auf **60** bis **61**) oder des Grünanteiles um **2** bis **3** Teilstriche (bis **56** herab) können als noch im Bereiche individueller Schwankungen des Normalen gelegen betrachtet werden.

Die absolute Farbentüchtigkeit ist aber auch damit noch nicht endgiltig dargetan, denn auch hier kann in vereinzelten Fällen die Unterschiedsempfindlichkeit derart herabgesetzt sein, daß Trommelverschiebungen von mehreren Intervallen nicht wahrgenommen werden. Ebenso können Ermüdungserscheinungen vorhanden sein, welche als Zeichen von Farbenschwäche für die praktische Brauchbarkeit sehr wesentlich in Betracht kommen. Versucht man in der oben angegebenen Weise[1]) (vom normalen Mischungsverhältnisse ausgehend), ob etwa nicht auch bei allmählicher Vermehrung der Rot- oder Grünkomponente durch längeres Betrachtenlassen Gleichung mit irgendeinem Gelb zu erzielen ist, so gelingt dies in einzelnen Fällen in verschiedenem Ausmaße, ja selbst mit reinem Rot oder Grün oder mit beiden Farben.

Wird in der Normaleneinstellung die obere Feldhälfte als zu dunkel oder rötlich bezeichnet, und muß man demgemäß mit der Grünzumischung unter **55**, und weiter bis **50**, herabgehen, ehe Gleichung eintritt, dann erscheint das obere Feld dem Normalen schon deutlich grün, und man hat einen sogenannten Leicht-Deuteranomalen vor sich. Man findet sie von der Normalengleichung aus ebenso wohl, als von der typischen Deuteranomalen-Einstellung her[2]).

Ganz anders, doch vielfach ebenfalls charakteristisch, verhalten sich die Dichromaten bei Betrachtung dieser drei Gleichungen.

Der Protanop nennt in der Rayleigh-Gleichung des Protanomalen (**68 : 10**) das für ihn im Verhältnis zum Rot viel zu helle Gelb meist (wie der Deuteranomale) grün, er nimmt aber weiterhin nicht nur die Deuteranomalen, sondern auch die Normalengleichung an, die er beide gelb, grün oder rot nennt. Man sieht also sofort, daß

[1]) Siehe S. 119.

[2]) Siehe oben, S. 87.

man keinen typisch Deuteranomalen vor sich hat (weil diese die Normalengleichung in der Regel ablehnen), sondern es wird vielmehr das Vorhandensein einer Dichromasie wahrscheinlich, und zwar weisen die auffallend unrichtigen Farbenbezeichnungen meist schon auf Protanopie hin.

Die Deuteranopen, denen die Helligkeitsabstufung in der Gleichung der Protanomalen im großen und ganzen zusagt, pflegen alle drei Gleichungen anzuerkennen und geben kaum Farben-, sondern nur leichte Helligkeitsunterschiede an.

Am häufigsten nennen sie noch die Protanomalen-Gleichung zweifarbig (Rot : Gelb, Rot : Grün), die Normalengleichung dagegen einfarbig rot oder gelb, jene der Deuteranomalen gelb oder grün. Die Annahme aller drei oder zum mindesten von zwei der genannten Gleichungen schließt eine Anomalie so gut wie sicher aus und weist durch die gebrauchten Farbennamen direkt auf Deuteranopie.

Je nach dem einen oder anderen Ergebnis, oder einfach probeweise, stellt man nun die Rot: Gelb-Gleichung des Deuteranopen (als des häufigeren Typus) ein (*Li*-Rot: **10** *Na*) und versucht, ob innerhalb der Grenzwerte Gleichung zu erzielen ist, was bei den Grünblinden meist leicht gelingt. Erweist sich dies als unmöglich, dann setzt man die Intensität des Gelb zur Spaltweite von **5** bis **3** herab und wird so bald die Rot: Gelb-Gleichung des Protanopen stimmend finden. Ihre Einstellung gestaltet sich mitunter etwas schwieriger, da Helligkeitsunterschiede von einem halben Teilstriche oft schon ein Umschlagen der Farbe bedingen; das Gleichheitsgebiet ist meist ein sehr eng begrenztes.

Unter **220** Dichromaten fand ich nur einen einzigen Fall, in welchem die Rot: Gelb-Gleichung beider Typen angenommen wurde: auch am Farbengleichungsapparate fehlte der charakteristische Helligkeitsunterschied in der Rot : Gelb-Gleichung vollständig. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Farben und Helligkeit war in auffallend hohem Grade herabgesetzt. Im Spektrum wurde nur Rot erkannt alles andere erschien licht- oder dunkelgrau. An Nagels Tafeln fand der Betreffende in Abteilung A nur 6 Ringe mit roten Punkten heraus, alles andere ging wirr durcheinander. Bei Stilling erschien alles nur grau. Bestimmend für die Einreihung unter die Deuteranopen schienen mir das unverkürzte Spektrum und das Verhalten bei Holmgren; eine sichere Entscheidung hätte nur die Aichung des Spektrums bringen können. Bei der ersten Untersuchung empfängt man allerdings öfter den Eindruck, derartige Fälle vor sich zu haben, da man nicht gar zu selten Deuteranopen findet, die für die Gelbintensität eine Einstellungsbreite bis zu 5 Teilstrichen aufweisen; die genauere, namentlich aber die wiederholte Prüfung bringt meist die entsprechende Aufklärung. Das Modell II des Anomaloskopes leistet dabei sehr wertvolle Dienste.

Die Protanopen fallen im allgemeinen durch das häufige direkte Verwechseln von Rot und Grün auf, indem sie das leuchtende *Li*-Rot grün nennen oder die Rot : Gelb-Gleichung als einfarbig grün bezeichnen usw.: auch sonst gehen die Bezeichnungen meist ganz regellos durch einander. Doch gibt es auch hier keine allgemein giltige Norm; man vermißt die Erscheinung oft bei Protanopen — ja in einzelnen Fällen ist sie sogar weniger ausgesprochen, als man sie je bei Deuteranopen findet —, und anderseits beobachtete ich wieder drei Grünblinde, bei welchen die Schwere der Symptome kaum mehr zu überbieten war.

Selbstverständlich wird man auch die Grün : Gelb-Gleichungen aufsuchen, für welche der Protanop eine Natriumspaltweite um **50**, der Deuteranop eine solche von etwa **35** verlangt. Doch sind die Gelbintensitäten hier viel weniger charakteristisch als in der Rot: Gelb-Gleichung und schwanken häufig in weiten Grenzen.

Wie man sieht, verhalten sich die drei Systeme dieser Kombination von Gleichungen gegenüber in ganz charakteristischer Weise. Die Normalen nehmen nur die Rayleigh-Gleichung ihres Systems an und lehnen die beiden anderen unter objektiv richtiger Farbenbezeichnung ab. Die Anomalen wieder lassen nur die Mischungsgleichung ihres Typus gelten und verwerfen beide anderen unter meist ganz bezeichnender, durch Kontraststeigerung bedingten Farbenbenennung. Die Dichromaten endlich nehmen die Normalengleichung jederzeit an, außerdem aber auch eine oder beide Anomalen-Gleichungen; am häufigsten wird noch die Protanomalen-Gleichung zweifarbig gesehen.

Es braucht wohl kaum ausdrücklich hervorgehoben zu werden, daß man bei der Vielgestaltigkeit der Fälle keineswegs immer in so einfacher Weise zum Ziele kommt, sondern mitunter alles nur überhaupt Denkbare versuchen und an Hilfsmitteln heranziehen muß, was nur erreichbar ist, um zu einer halbwegs klaren und einwandfreien Deutung solcher Ausnahmsfälle zu gelangen.

Ebensowenig bedarf es eines speziellen Hinweises, daß eine derartige Methodik nur eine von vielen Möglichkeiten darstellt, deren Vorteile man anerkennen oder ablehnen kann; sie tangiert nicht das Wesen der Sache, sondern ist mehr eine Frage der Zweckmäßigkeit.

Nagel pflegte die Untersuchung am Anomaloskope mit der Darbietung der Dichromaten-Gleichungen zu beginnen und ging sonst ganz ähnlich vor, wie ich es oben vorgeschlagen habe.

Köllner empfiehlt 1911 folgende fünf Einstellungen[1]):

1. „Rot-Gelb, Intensität des letzteren verändern, ob Gleichung möglich.

2. Gelb-Intensität fest einstellen, das Rotgrüngemisch verändern, bis Gleichung möglich.

[1]) Über das Grenzgebiet usw. S. 249, Tafel XIV.

3. *a)* Rotgrüngemisch etwas Grün beimischen (zirka 8 bis 10 Teilstriche). Intensität des Gelb verändern, bis und ob Gleichung möglich ist.

3. *b)* Dasselbe, nachdem dem Rotgrüngemisch etwas Rot beigemischt ist (zirka 8 bis 10 Teilstriche).

4. Grün-Gelb, Intensität des Gelb verändern, ob Gleichung möglich."

Unter dem „Rotgrüngemisch" von 3 *a* und 3 *b* ist das Mischungsverhältnis des Normalen gemeint. Mit den Einstellungen 1 und 4 wird man die Dichromaten und extrem Anomalen ausheben und durch längeres Betrachtenlassen die bei Normalen und Anomalen eventuell vorhandenen Ermüdungserscheinungen feststellen. Mit 3 *a* findet man, von einem Mischungsverhältnis von 47 bis 49 ausgehend, durch Veränderung der Gelbintensität die Deuteranomalen, und mit 3 *b* auf einem Mischungsverhältnisse von 67 bis 69 fußend, in gleicher Weise die Protanomalen. Die Einstellung 2 endlich dient zur Erkennung der Normalen, indem man, von einer fixen Gelbintensität ausgehend, das Mischungsverhältnis des normalen Systems aufsucht.

Ganz ähnlich hat Köllner den „Gang der Untersuchung" 1912 in seinem Lehrbuche beschrieben. Etwas abweichend und vor allem ausführlicher lautet die „Anleitung zur Prüfung des Farbenunterscheidungsvermögens mittels des Anomaloskops für Bahnaugenärzte", welche Köllner 1913 für den Bereich der preußisch-hessischen Eisenbahngemeinschaft entworfen hat, und die nun dort amtlich eingeführt ist. Diese Erweiterung war notwendig, „weil einmal Rücksicht genommen werden mußte auf die Zahlenschwankungen, welche durch Intensitätsänderungen der Lichtquelle leicht entstehen können, anderseits sind seit Niederschrift des betreffenden Kapitels im Buch noch eine Reihe Variationen und Übergangsformen der anomalen Trichromasie aufgefunden worden, die notwendig berücksichtigt werden mußten". Die Anleitung ist zwar im Handel nicht käuflich, jedoch in Nr. 6 der Zeitschrift für Bahn- und Bahnkassenärzte[1]) veröffentlicht, so daß ich wohl die tabellarische Zusammenstellung des nun vorgeschriebenen Untersuchungsganges daraus wiedergeben kann. (Folgt S. 126 u. 127.)

Wie man sieht, geht Köllner in seinen Anweisungen für die Anomalen-Untersuchung in gerade umgekehrter Weise vor, wie ich es oben beschrieben habe, indem er die Mischlichter fest einstellt und die Gelbintensität suchen läßt. Die Einstellungen sub 4 beziehen sich auf die Grenzfälle in dem bereits ausführlich erörterten Sinne. Hier, wie sub 5 sind auch die Tafelproben von Nagel und Stilling, sowie das Cohnsche Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinnes als für die Entscheidung maßgebend mit herangezogen.

Über die Benützung von Durchschnittsgleichungen zur Diagnose der Farbensinnstörungen äußert sich Köllner[2]) in dieser Anleitung folgendermaßen: „Das Vorgehen ist das älteste, zugleich einfachste und

[1]) S. 144 und ff., 1913. J. A. Barth, Leipzig.

[2]) l. c. S. 150.

Tabellarische Übersicht des Ganges der Untersuchung aus Köllners „Anleitung".

Art der Einstellung	Es wird Gleichung erhalten	Gleichung unmöglich
1 *a)* links auf 90 fest einstellen (= Rotgelb-Gleichung); rechte Schraube regulieren lassen.	stets farbenuntüchtig, und zwar *a)* wenn auch Einstellung 1 *b)* angenommen wird: rotgrünblind; *α)* wenn rechte Schraube auf zirka 3 bis 5: Protanop, *β)* wenn rechte Schraube auf zirka 10 bis 14; Deuteranop (vorausgesetzt, daß auch bei der nächsten Einstellung Gleichung erhalten wird); *b)* andernfalls anomaler Trichromat.	unentschieden. Wird das Gelb grün genannt: Verdacht auf anomale Trichromasie.
1 *b)* links auf 0 fest einstellen (= Grüngelb-Gleichung); rechts regulieren lassen.	stets farbenuntüchtig, und zwar 1. wenn auch die Einstellung 1 *a* angenommen wird: rotgrünblind (Protanop stellt rechts 70 bis 90, Deuteranop 30 bis 40); 2. andernfalls hochgradig anomaler Trichromat.	unentschieden
2. rechts auf die Durchschnittseinstellung des Normalen fest einstellen (13 bis 15, jedesmal an einem Normalen ausprobieren; links einstellen lassen.	*a)* links wird unter 52 (5 Striche unter die Normalen-Durchschnittsgrenze) eingestellt: farbenuntüchtig (Deuteranomal). *b)* links wird über 66 (5 Striche über die Normalen-Durchschnittsgrenze) eingestellt: farbenuntüchtig (Protanomal). *c)* links wird zwischen 52 und 66 eingestellt: noch unentschieden.	unentschieden.
3 *a)* links auf etwa 40 fest einstellen; rechts regulieren.	farbenuntüchtig (Deuteranomal).	unentschieden, wenn deutlicher Farbenunterschied beim Drehen der rechten Schraube bleibt. Besteht nur geringer Unterschied der Farben beider Felder, dann Wiederholen der Einstellung, wenn linke Schraube auf 41, 43, 39 usw. steht. Wenn dann Gleichung, ebenfalls anomal.
3 *b)* links auf 69 fest einstellen: rechts regulieren.	farbenuntüchtig (Protanomal).	unentschieden. Ist Farbenunterschied nicht sehr groß, unbedingt Wiederholen der Einstellung, wenn links auf 68, 70; wenn dann Gleichung, ebenfalls anomal.

Wurde bei Einstellung 2 die linke Schraube zwischen 52 und 66 eingestellt und dabei Gleichung erhalten, dagegen alle anderen Gleichungen abgelehnt und Nagels, Stillings und Cohns Tafeln bestanden, ist der Untersuchte als **farbentüchtig** anzusehen. Besteht dagegen bei einer der letzteren Proben Unsicherheit, dann weiter untersuchen.		
4 *a*) linke Schraube 4 Teilstriche tiefer stellen als die Zahl, welche bei Gleichung Nr. 2 erhalten wurde (= Grün zumischen), rechts regulieren. 4 *b*) links 3 Teilstriche höher stellen als die Zahl, welche bei Gleichung Nr. 2 erhalten wurde (= Rot zumischen), rechts regulieren.	Wird bei einer dieser Einstellungen oder bei beiden ebenfalls eine Gleichung erhalten, so ist der zu Prüfende nur dann als farbenuntüchtig zurückzuweisen, wenn mindestens eine der drei Tafelproben gar nicht oder zwei unsicher bestanden werden. Bei den Wiederholungsprüfungen sind Bedienstete nur dann als farbenuntüchtig für den Bahndienst zu bezeichnen, wenn sie bei mindestens zwei Tafelproben versagen.	farbentüchtig. Nur wenn mindestens zwei Tafelproben nicht bestanden werden, sind Prüflinge bei der Einstellung in Dienstzweige, für die Farbentüchtigkeit verlangt wird, als farbenuntüchtig zu bezeichnen.
Sollte bei besonders empfindlichen Beobachtern bis jetzt überhaupt noch keine Gleichung erzielt sein, dann		
5. links auf Zwischenzahlen (50, 52 usw.) einstellen, bis durch Regulieren rechts eine Gleichung erzielt wird.	steht die linke Schraube zwischen 57 und 66, dann Urteil wie bei Einstellung 4; wenn unter 52 und über 66: Prüflinge bei der Einstellung als farbenuntüchtig bezeichnen, bei Wiederholungsprüfungen Beamte nur im Dienst lassen, wenn alle Tafelproben völlig einwandsfrei bestanden werden.	

Anmerkung: 1. Die Urteile auf dieser Tabelle haben nur Giltigkeit, wenn die Reihenfolge der Einstellungen streng eingehalten wird. Es ist jedesmal vorausgesetzt, daß die vorhergehenden Einstellungen auch wirklich vorgenommen waren.

2. Die Zahlen der Tabelle haben nur Giltigkeit, wenn die Einstellung des Normalen sich von den Zahlen links 56 bis 64 (meist 58 bis 61), rechts 13 bis 16 nicht entfernt.

schnellste. Bei ihm kann jedoch sehr leicht ein Übersehen einer Anomalie des Farbensinnes vorkommen; es ist daher zu verwerfen."

Diesem Urteile stimme ich vollinhaltlich zu, wenn die Verwendung von Durchschnittsgleichungen in der Weise geschieht, daß man z. B. nur die Normalengleichung oder nur beide Anomalengleichungen (oder auch alle drei) darbietet und nun aus der vereinzelten Anerkennung der Normalengleichung beziehungsweise Ablehnung der Anomalengleichungen ohne weiteres und ganz schematisch auf normalen Farbensinn oder das Fehlen einer Anomalie schließen und die Aufgabe damit für erledigt halten wollte. Das wäre selbstverständlich ein ganz unsachliches und durchaus verwerfliches Vorgehen. Man könnte damit leicht alle Farbenblinden für farbentüchtig erklären und etwa nur wenige Teilstriche auf oder ab gelegene zweifellose Anomalengleichungen übersehen.

Wenn man jedoch alle nach dem jeweiligen Stande unseres Wissens gebotenen Feststellungen vornimmt, so scheint es mir nicht von prinzipieller Bedeutung, an welcher Stelle die Untersuchung einsetzt; ob man die einzelnen Gleichungen von gewissen Mittelwerten oder von der Nullstellung her aufsucht; sowie ob man von einer fixen Gelbintensität oder einem bestimmten Mischlichte ausgeht. Die Verschiedenheiten, die sich dabei in letzterer Beziehung für die zahlenmäßige Darstellung ergeben, sind mehr systematischer und didaktischer Art.

Die Untersuchung soll nur nicht zu schematisch, sondern von der klaren Erkenntnis geleitet sein, warum man so vorgeht; jeder weitere Schritt sich folgerichtig aus dem vorausgegangenen ergeben; womöglich kein Fall durchschlüpfen oder falsch gedeutet werden können und die ganze Anordnung so getroffen sein, daß sie für alle Individualitäten der Prüfenden paßt. Köllner[1]) selbst hat in seinem Lehrbuche die beste Anweisung dazu gegeben: „Eine rein schematische Untersuchung hat überhaupt große Bedenken. Man soll stets die Untersuchung mit Verständnis und Kenntnis der Gesichtspunkte, auf die es ankommt, vornehmen, d. h. man muß die Hauptcharakteristika der einzelnen Formen der Farbensinnstörungen beherrschen."

Ich bin da ganz der gleichen Meinung und möchte nur noch hinzufügen, daß es wesentlich anderes bedeutet, ob man die Methodik im allgemeinen bespricht oder im Rahmen einer kurzen Anleitung bündige Vorschriften zu geben hat. Je größer der Kreis der Untersuchenden ist, für den sie bindend sein soll, und mit je verschiedeneren theoretischen Vorkenntnissen man dabei zu rechnen hat, desto detaillierter, präziser und eindeutiger werden die Weisungen lauten müssen, um willkürlichen Auslegungen durch einzelne Prüfer, welche die Tragweite dieser oder jener Bestimmung vielleicht nicht ganz übersehen, nach Möglichkeit vorzubeugen. Und in diesem Sinne würde ich glauben, daß

[1]) l. c. S. 363.

Köllners Schema die überhaupt erreichbare größte Sicherheit auch bei jenen Prüfern garantiert, die theoretisch nicht ganz sattelfest sind.

Großen Wert möchte ich darauf legen, in jedem Falle eine möglichst genaue Spezialdiagnose zu stellen, denn das ist ja doch das wesentliche und auch praktisch maßgebende. Es regt am meisten an, stelit jeder Untersuchung erst das rechte Ziel, fördert in wirksamster Weise das theoretische Verständnis und ermöglicht überhaupt erst ein sachlich geordnetes Vorgehen. Die spezielle Methodik, in ihren Einzelheiten richtig erfaßt, ordnet sich dann von selbst zu einem zielbewußten Ganzen zusammen.

Nun wäre noch die Frage zu berühren, soll man immer beide Augen untersuchen, oder kann man sich mit monokularer Prüfung begnügen? Ich untersuche nun seit Jahren in jedem Falle jedes Auge für sich und habe sämtliche Befunde sorgfältig notiert. Doch konnte ich in keinem einzigen Falle einen wesentlichen Unterschied zwischen den zwei Augen wahrnehmen, so daß ich darauf verzichte, näher auf die gefundenen Abweichungen einzugehen. Es werden zwar gar nicht selten verschiedene Angaben gemacht, aber kaum je aufrecht erhalten, wenn man immer wieder mit dem anderen Auge nachprüfen läßt; geringe Verschiedenheiten sind ja bei dem beständigen Wechseln der Adaptation unvermeidlich. Ich möchte daher glauben, daß man sich für praktische Zwecke mit der Prüfung eines Auges begnügen kann, oder noch besser, man untersucht mit beiden Augen abwechselnd, wobei nennenswerte Differenzen in der Farbenunterscheidung kaum der Wahrnehmung entgehen dürften.

Anschließend möchte ich noch einige Bemerkungen über Nagels Farbengleichungsapparat machen, den Stargardt und Oloff als unbrauchbar, schlecht und direkt irreführend bezeichnen, weil er auf Farbenbenennung basiere. Nun ist gerade dieser Apparat, der von Nagel ursprünglich nur zur Untersuchung der Dichromaten angegeben wurde, wie schon sein Name sagt, nach dem Prinzipe der pseudoisochromatischen Gleichungen konstruiert und nicht auf Farbenbenennung berechnet. Als sich Nagel später mit der Erforschung der Anomalen beschäftigte, stellte sich heraus, daß auch diese an dem Apparate ganz charakteristische Angaben machen, indem sie infolge Kontraststeigerung die dritte Einstellung (Rot : Gelb) als Rot : Grün bezeichnen. Weiterhin zeigte sich, daß die Protanomalen, genau wie die Protanopen, für diese heterochrome Gleichung ein bedeutend dunkleres Gelb als die Deuteranomalen verlangen, womit zugleich eine Unterscheidung dieser zwei Typen ermöglicht war.

Köllner hat den Apparat wesentlich verbessert, indem er die Größe der Objektfelder veränderlich gestaltete und den trennenden Steg derart verschmälerte, daß die Verschmelzung der zwei Lichter zu

einer Scheingleichung leichter möglich wurde. Diese Lampe liefert nun weiter in der Bläulichgrün: Weiß-Einstellung eine für anomale Trichromasie beweisende Gleichung, die in einem großen Teil der Fälle angenommen wird. (Als selbstverständliche Voraussetzung hat dabei zu gelten, daß nicht etwa eine Dichromasie vorliegt.) Für alle diese Zwecke stehen beide Lampen seither in Verwendung, und wo sie überhaupt einen Ausschlag geben, war ihre Leistung immer eine zufriedenstellende.

Stargardt und Oloff[1]) haben nun eine große Anzahl von Leuten gefunden, welche das Gelb der oben genannten dritten Einstellung (neben Rot) als grün bezeichneten, obwohl sie vollkommen normalen Farbensinn hatten. Die Erklärung, welche die Autoren dafür geben: „Es liegt dies wohl daran, daß das Gelb an dem Apparat kein reines ist, sondern ein schmutziges, ziemlich dunkles, und daß nun der Prüfling die Bezeichnung errät", verstehe ich nicht, und es dürften wohl auch sonst nur wenige Leser erraten, warum Normale ein schmutziges Gelb, sei es an sich oder neben Rot, für grün halten sollen. Es ist auch nicht gesagt, ob sie das Gelb, isoliert gezeigt, ebenfalls grün nannten. Die Mitteilung ist also an und für sich ganz unklar, da man daraus nicht einmal entnehmen kann, ob die Autoren die Beobachtungen als Kontraststeigerung oder als selbständige, anders geartete Empfindung auffassen. Die daraus zu ziehenden Schlüsse wären aber wohl in beiden Fällen andere. Nimmt man Kontrastwirkung an, dann wäre an Farbenschwäche zu denken, die sich ja sonst nicht in auffallender Weise zu äußern braucht. Sollte das Gelb dagegen auch isoliert grün genannt werden, was ich bei wirklich durchaus Normalen niemals gesehen habe und worüber mir auch aus der Literatur nichts bekannt ist, so wäre damit nichts weiter bewiesen, als daß man solche Menschen an diesem Apparate nicht auf Simultankontrast mit Rot als induzierender Farbe prüfen kann, weil sie die Gelbscheibe dieser Lampe schon an und für sich grün (also in der Farbe, die erst aus dem Kontraste resultieren soll) sehen, keineswegs aber, daß der Apparat nichts tauge. Ferner bietet diese Einstellung ja nur eine von vielen Verwendungsmöglichkeiten der Lampe, und es liegt deshalb noch keine Veranlassung vor, dieselbe überhaupt zu verwerfen. Auch befremdet es, daß die Autoren gerade hier die Unzulässigkeit der Farbenbenennung so betonen, weil dies die einzige Verwendungsart ist, welche die Namengebung direkt erfordert, indem man die kontrastive Färbung des Nachbarfeldes auf andere Weise eben nicht erfahren kann.

Die genannten Autoren gehen übrigens so weit, auch vor Köllners Lampe, über die ihnen jede eigene Erfahrung fehlt, zu warnen, weil die Prüfung damit ebenfalls auf Farbenbenennung basiere, was sie für

[1]) Diagnostik der Farbensinnstörungen 1912, Berlin, Springer, S. 28.

prinzipiell falsch halten. Nun sagt Köllner[1]) selbst über seine Lampe: „Der Hauptvorteil der Gleichungen liegt darin, daß der Untersucher nicht von der Benennung des farbigen Eindruckes der Patienten abhängig ist. Ob zwei Farben gleich aussehen oder nicht, wird stets befriedigend angegeben." Daraus geht hervor, daß die Annahme der Autoren auch hier nicht zutrifft, und sie etwas bekämpfen, was von den Erfindern niemals intendiert war und mit der einzigen oben erwähnten Ausnahme überhaupt nicht in Betracht kommt. Diese Bemerkungen genügen wohl zum Beweise, daß dieser Kritik keine überzeugende Kraft innewohnt. Sie ist inzwischen nur von Stilling[2]) übernommen worden; Köllner[3]) selbst und Vierling[4]) haben sich bereits dagegen gewendet.

Beide Apparate leisten vielmehr in dem oben angegebenen Umfange sehr wertvolle Dienste (insbesondere Köllners Lampe, auch bei erworbenen Farbensinnstörungen), und einer oder der andere sollte unter den Prüfungsbehelfen nicht fehlen. Wir haben daran keinen solchen Überfluß, daß wir auch nur beschränkter brauchbare so ohne weiteres abzulehnen vermöchten, sondern in zweifelhaften Fällen können wir gar nicht genug Hilfsmittel zur Verfügung haben. Dieselben reagieren ja bei den einzelnen Farbensinnstörungen oft in ganz verschiedener Weise, und wir müssen uns die brauchbaren Symptome häufig genug da und dort mühsam zusammensuchen, um daraus doch noch ein genügend klares Bild zu gewinnen; da ist dann auch der kleinste Beitrag willkommen. Für absolut verläßlich oder ausschlaggebend sind Lampen wohl von niemand betrachtet worden, denn das war bei farbigen Gläsern von vornherein nicht zu erwarten. Auch darf man von ihnen nicht mehr verlangen, als sie nach ihrer Konstruktion zu leisten imstande sind und ihre Erfinder damit beabsichtigten; wo z. B. die Kontraststeigerung überhaupt fehlt, müssen die Apparate in der oben genannten Einstellung naturgemäß versagen. Unter **400** Anomalen eigener Beobachtung war dies **52**mal der Fall; **18**mal erwies sich die Differenzierung der beiden Typen von Dichromaten und Anomalen mit dieser Lampe unmöglich, da die Helligkeitsverteilung eine andere war.

---

[1]) Die Störungen des Farbensinnes, S. 362.

[2]) Einige Bemerkungen über die Farbensinnprüfung, Zentralbl. f. Augenheilkunde, März 1913.

[3]) Bericht über die Leistungen und Fortschritte der Augenheilkunde, 1912, S. 293.

[4]) Vergleichende Untersuchungen ... Zeitschrft. f. Bahnärzte, Mai 1913.

V. Praktische Beurteilung der Farbensinnstörungen.

Eine besondere Besprechung möchte ich noch der praktischen Beurteilung der Farbensinnstörungen widmen, weil diese sich für den Prüfer ebenso verantwortungsvoll, als für den Geprüften folgenschwer gestalten kann, und gerade diese Frage am häufigsten zu Kontroversen zwischen den einzelnen Gutachtern Veranlassung gibt.

Kaum jemals werden Zweifel über die Farbenuntüchtigkeit der Dichromaten auftauchen, und sie kann wohl als feststehend gelten. Bedenken, die sich gelegentlich wegen der Zuteilung zu dem System (z. B. bei den extrem Anomalen) oder zu einem Typus desselben ergeben, sind rein theoretischer Natur. Im großen und ganzen ist der Symptomenkomplex hier ein einheitlicher und im wesentlichen abgeschlossener, wenigstens für das direkte Sehen.

Nicht mehr so einfach liegen die Verhältnisse bei den Anomalen, da wir es hier mit zwei vielgestaltigen Symptomenreihen — der spektralen Anomalie und den sekundären Merkmalen — zu tun haben, die zusammen oder für sich, in den verschiedensten Graden der Ausbildung und in den mannigfachsten Kombinationen vorkommen können. Dadurch ergeben sich zahlreiche, oft sehr verwickelte Symptomenbilder, die leicht zu Konflikten in der Diagnose führen.

Kommen beide Erscheinungsreihen zusammen vor, wie es in den der Zahl nach überwiegenden typischen Fällen die Regel ist, dann werden wohl auch bei diesem System nicht leicht Meinungsverschiedenheiten aufkommen, weil die Farbenuntüchtigkeit ebenso evident und über jeden Zweifel erhaben ist, wie bei den Dichromaten. Ja, ich möchte Anomale mit ausgesprochenen sekundären Merkmalen in gewissem Sinne für praktisch gefährlicher halten, als die (partiell) Farbenblinden, weil ihr Farbensehen viel unbestimmter, schwankender, von äußeren Umständen, wie der jeweiligen Körperverfassung, abhängiger und deshalb unverläßlicher ist, als jenes der Dichromaten. Infolgedessen können die Anomalen auch von den sekundären Kriterien keinen so erfolgreichen Gebrauch machen und unterliegen dadurch weitaus leichter

Täuschungen, als die Farbenblinden, bei welchen der ganze Korrektionsapparat viel besser ausgebildet ist und auch konstanter und sicherer funktioniert. Ich müßte schon öfter Gesagtes wiederholen, wenn ich dies nochmals speziell begründen wollte.

Die Schwierigkeiten beginnen aber sofort, wenn nur eine der Erscheinungsreihen vorhanden oder, vielleicht richtiger gesagt, nachzuweisen ist, also entweder spektrale Anomalie ohne Farbenschwäche, oder umgekehrt. Da drängt sich augenblicks die unabweisliche Frage auf, was ist dann für die Einschätzung maßgebend, das Anomaloskop oder die Tafelproben, beziehungsweise die anomale Rayleigh-Gleichung oder die Farbenschwäche? Eine kurze Überlegung dürfte den heute auf diesem Gebiete überhaupt erreichbaren Grad von Klarheit schaffen.

Für die Zugehörigkeit zum anomalen System, i. e. für die wissenschaftliche Diagnose, ist einzig und allein der Nachweis einer anomalen Rayleigh-Gleichung in dem schon bekannten Sinne maßgebend, und da bildet der Spektralapparat unbedingt die erste und einzige Instanz; an den damit erhobenen Befunden messen wir auch die Brauchbarkeit der einfacheren Methoden für die Feststellung dieser Diagnose.

Nicht so klar liegen die Verhältnisse bei der praktischen Bewertung. Hier können uns die Veränderungen, welche das Farbensehen durch die sogenannten sekundären Symptome erleidet und die wir in erster Linie mit Tafelproben und Gleichungsapparaten nachweisen — auch bei Fehlen der charakteristischen Rayleigh-Gleichung — zwingen, die Farbenschwäche in die erste Reihe zu rücken, und wir bewegen uns in einem gewissen Widerspruche, wenn wir nun wieder die einfacheren Proben über das Anomaloskop stellen.

Aber auch diese Bedenken schwinden, sobald wir uns bewußt werden, daß beide Untersuchungsmittel eigentlich verschiedenen Zwecken dienen.

Mit dem Spektralapparat weisen wir die charakteristischen Mischungsgleichungen und von den sekundären Merkmalen die herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit, den gesteigerten Kontrast und die erhöhte Ermüdbarkeit nach. Dagegen macht sich die größere Abhängigkeit der Anomalen von Schwankungen der Intensität, Helligkeit und Sättigung, sowie der Zeit- und Raumschwelle, an den Pigmentfarben mit ihrer gemischten und wechselnden Zusammensetzung in viel auffallenderer Weise geltend und tritt demgemäß auch bei den einfacheren Proben sinnfälliger in Erscheinung, als am Spektralapparate. Da wir es nun bei der praktischen Farbenerkennung ausschließlich mit unreinen Pigmentfarben zu tun haben (auch die zurzeit verwendeten Signal-

gläser lassen ohne Ausnahme gemischtes Licht durch), so erhalten wir auch über die genannten sekundären Symptome den verläßlichsten Aufschluß durch Tafel- und Gläserproben. Die Ergebnisse am Anomaloskope sind uns hauptsächlich deshalb so wertvoll, weil wir die sekundäre Farbenschwäche im allgemeinen an die anomale Rayleigh-Gleichung gebunden und mit dieser zugleich nachgewiesen erachten. Wir werden bald sehen, in welchem Ausmaße dies zulässig ist.

Treffen beide Symptomenkomplexe zusammen, so ergänzen sie sich zu dem Gesamtbilde der typischen Anomalien, und da diese der Zahl nach überwiegen, so können wir aus dem Vorhandensein der einen Symptomenreihe mit einem gewissen Rechte auf nähere Beziehungen zu der zweiten Gruppe von Erscheinungen schließen. Welcher Art diese Beziehungen sind, entzieht sich zunächst noch unserer Erkenntnis, da uns bis nun jeder Einblick in den ursächlichen Zusammenhang zwischen dem inneren Wesen der anomalen Systeme und ihren sekundären Merkmalen versagt ist. Wir können beide Erscheinungsreihen mit größerer oder geringerer Sicherheit konstatieren, aber nicht ursächlich verknüpfen. Sobald sie also (nach dem heutigen Stande unseres Wissens und unserer Untersuchungstechnik) getrennt vorkommen, erhält jede für sich wieder ihre selbständige Bedeutung und verlangt auch ihre besondere Einschätzung.

Wir müssen daher die Frage, welches von den zwei Prüfungsverfahren gegebenenfalls für die praktische Beurteilung ausschlaggebend sei, als eine müßige bezeichnen, denn jedes gilt für seinen Bereich, und in diesem Sinne sind beide gleichwertig und gleich unentbehrlich. Da weiterhin die Symptomengruppen, die wir mit diesen Methoden erheben, keineswegs immer konjugiert sind, noch parallel gehen, so obliegt uns die Verpflichtung, in jedem Falle beide festzustellen und sorgfältig gegeneinander abzuwägen. Je mehr es uns gelingen wird, das ungemein vielgestaltige Bild dieser Farbensinnstörung zu zerlegen und in unteilbare Einheiten aufzulösen, um so klarer werden wir ihre gegenseitigen Beziehungen übersehen, und es ist keineswegs ausgeschlossen, daß wir später einmal in die Lage kommen, auch in jenen Fällen spektrale Abweichungen nachzuweisen, in denen gegenwärtig Zeichen von Farbenschwäche unvermittelt und für sich allein zu bestehen scheinen; und umgekehrt die Farbenschwäche auch dort darzutun, wo wir sie nach dem anomalen spektralen Befunde erwarten würden, aber mit unseren derzeitigen Hilfsmitteln noch nicht zu erweisen vermögen.

Ähnlichen Gedanken haben sowohl Nagel als Köllner wiederholt Ausdruck gegeben; allerdings fügt letzterer hinzu[1]): „Bei mir hat sich

[1]) Über das Grenzgebiet usw. S. 249.

bisher in jedem Falle, der mit anderen Methoden farbenschwach erschien, (spektral) ebenfalls eine deutliche Anomalie gezeigt" (Anomalie ist wohl hier im Sinne einer Abweichung überhaupt zu verstehen), und neigt damit mehr der Anschauung Guttmanns zu, daß alle Anomalen farbenschwach seien.

In praktischer Hinsicht interessiert uns jedenfalls die Farbenschwäche vor allem, und wir würden uns wohl eher entschließen können, jemand mit selbst ausgesprochen anomaler Gleichung im Dienste zu belassen, wenn er dabei keine Zeichen von Farbenschwäche aufweist, als einen anderen, dessen Gleichung vielleicht nur wenig von der Normaleneinstellung abweicht, der aber bedenkliche sekundäre Symptome erkennen läßt.

Nagel[1]) äußerte sich zu dieser Frage wie folgt. „Für die bahnärztliche Praxis scheinen mir diese neuen Befunde (gemeint ist anomale Trichromasie ohne Farbenschwäche) keine erhebliche Bedeutung zu haben; nach wie vor wird man Personen, die (am Spektralapparate) als anomale Trichromaten erkannt sind, vom Eisenbahn- und Marinedienst ferne zu halten haben. Wenn man damit auch gelegentlich einmal einen nicht wirklich farbenschwachen Anomalen abweist, so hat dies bei der außerordentlichen Seltenheit solcher Fälle nicht viel zu sagen. Es bleibt übrigens ja auch erst noch festzustellen, ob in diesen Fällen hinsichtlich der zeitlichen Verhältnisse der Farbenunterscheidung eine ähnliche Abweichung vom gewöhnlichen Anomalen besteht.

Im Zweifel könnte man zunächst sein, wie man sich zu stellen hat, wenn ein Angestellter, der nach bestandener Tafelprobe zum Dienste zugelassen ist, nachträglich aus irgendeinem Grund als Anomaler erkannt wird. Ich würde in solchem Falle die Tafelprobe mehrmals wiederholen und einen Anomalen nur dann im Dienste lassen, wenn er dieselbe bei mehreren Wiederholungen richtig und ohne Zögern ausführt.

In hohem Grade erwünscht ist es jedenfalls, über die seltenen Fälle, in denen Personen farbenschwach sind, ohne Anomale zu sein, wie auch in dem oben erwähnten umgekehrten Fall, genauere Erfahrungen in gründlicher Untersuchung zu sammeln. Ich habe derartige Untersuchungen auch in Aussicht genommen und werde später darüber berichten."

Leider war es Nagel nicht mehr vergönnt, diesen Vorsatz auszuführen, und sein Wunsch nach weiterer Erforschung dieser Fragen ist bis heute ein offener geblieben, da noch recht wenig Material dazu herbeigeschafft wurde.

Ich selbst sprach mich an der gleichen Stelle dahin aus, daß rein spektrale Anomalien (ohne Farbenschwäche) bei den Aufnahmsprüfungen

[1]) Wiener klin. Wochenschr. 1909, Nr. 24.

zurückzuweisen seien, schon Angestellte jedoch im Dienste belassen werden könnten, wenn die wiederholt vorgenommene Tafelprobe ein tadelloses Ergebnis liefert. Dieser Anschauung hat sich auch Köllner[1]) angeschlossen, und ich möchte sie heute noch für die richtige halten. Bei der ersten Untersuchung sind alle spektral Anomalen abzulehnen, ganz gleich, ob sie nebenher noch Zeichen von Farbenschwäche darbieten oder nicht. Werden solche Fälle erst bei der Wiederholungsprüfung aufgedeckt, und macht die Amovierung aus dienstlichen oder sozialen Gründen besondere Schwierigkeiten, dann können wir eher zu Konzessionen bereit sein, wenn keine, oder wenigstens keine nennenswerten Zeichen von Farbenschwäche vorliegen. Den Hauptwert würde ich dabei auf die herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit, den gesteigerten Kontrast (der in solchen Fällen auch an Nagels Dreilichterapparat festzustellen wäre, welcher den natürlichen Verhältnissen am nächsten kommt), und Ermüdungserscheinungen legen. Wenn eines dieser Symptome nur irgendwie ausgesprochen ist, müssen wir auf untauglich erkennen; abzuweisen wären ferner jene Fälle mit unsicherer, beständig wechselnder Farbenempfindung, die keinen Eindruck recht aufnehmen oder festhalten können und in ihren Angaben immer hin und her schwanken. Nagel und Stilling müßten fehlerfrei bestanden werden.

In das Grenzgebiet zwischen anomalem und normalem Farbensinn hat Köllner Fälle gestellt, welche wohl die Normalengleichung anerkannten, bei längerem Betrachten aber auch weitere Rot- und Grünzumischungen vertrugen, ja selbst mit homogenem Rot oder Grün, beziehungsweise beiden, Gleichung erhielten. Es sind dies also Fälle, welche nach leichter Ermüdung nicht nur die Anomalen-, sondern selbst die Dichromaten-Gleichungen annehmen und den Gutachter leicht auf Abwege führen können. Man würde sehr wesentliche Störungen übersehen, wenn man sich mit der Anerkennung der Normalengleichung begnügen wollte, und anderseits in wissenschaftlichem Sinne Fehler begehen, wenn man auf Grund von Ermüdungsgleichungen die Einreihung in ein System vornehmen würde. Es ist hier um so größere Vorsicht am Platze, als auch die einfacheren Proben meist keine deutlichen Hinweise bringen.

Wie bereits erwähnt, habe ich seit Köllners Mitteilung 20 ähnliche Beobachtungen gemacht und möchte nur nochmals betonen, daß ich bloß solche Fälle hierher rechnete, welche bei augenblicklicher Betrachtung nur die Normalengleichung annahmen und unter dieser Bedingung jede weitere Rot- oder Grünzumischung ablehnten. In welchem Grade die Unterschiedsempfindlichkeit durch die Ermüdung

[1]) Die Störungen des Farbensinnes, S. 61.

herabgesetzt wurde, ist bereits oben angeführt, und hier soll nur nachgetragen werden, wie sich die Fälle gegen die Tafelproben und den Farbengleichungsapparat verhielten.

Anzahl der Fälle	Nagel	Stilling	Farben-gleichungs-apparat
15	+	+	+
2	+	+	—
1	+	fehlt	+
1	+	—	—
1	?	mühsam	—
20			

In etwa drei Viertel der Fälle war also, trotz bestehender Ermüdungserscheinungen am Anomaloskope, das Verhalten bei den einfacheren Proben ein positives, obwohl 6mal Gleichungen selbst mit reinem Rot und reinem Grün angenommen wurden. Solche Beobachtungen drängen wohl die Vermutung auf, daß für das Bestehen der einfacheren Proben vielfach doch andere Qualitäten (beziehungsweise eigenartige Kombinationen sekundärer Symptome) in Frage kommen, als bei der Betrachtung von Spektralfarben, sonst wäre es kaum verständlich, wie Beobachter, die nach wenigen Sekunden Gleichungen zwischen Rot und Gelb, und Grün und Gelb erhalten, dennoch die Tafelproben zu lesen vermögen. Die Dinge liegen hier offenbar doch viel komplizierter, als wir zunächst anzunehmen geneigt sind, und es ist demnach nicht zu verwundern, daß wir all die vielverschlungenen Kombinationen noch nicht klar überblicken und ursächlich verknüpfen können.

Nur in einem Viertel der Fälle ergab sich teilweises oder gänzliches Versagen bei den einfachen Proben. 1mal war Nagel fraglich, indem *B 3* als einfarbig grün bezeichnet wurde; 1mal konnte Stilling nicht entziffert werden; 4mal deckte der Farbengleichungsapparat Störungen auf, und zwar 2mal pseudoisochromatische Gleichungen zwischen Bläulichgrün und Weiß und 2mal gesteigerten Kontrast, der ebenso oft auch am Anomaloskope nachzuweisen war.

Wollte man für derartige Fälle zum Zwecke gegenseitiger Verständigung mit einer besonderen Namengebung vorgehen, so wäre es wohl am einfachsten, nur den tatsächlichen Befund kennzeichnend, von Farbenschwäche mit erhöhter spektraler Ermüdbarkeit (bei fehlender Anomalen-Gleichung) zu sprechen. Ich würde dies für bezeichnender halten, als von Grenzfällen zu sprechen, weil wir diesen Terminus bei jeder einzelnen Gruppe nicht gut entbehren können. Es ließe sich wohl auch die Anschauung vertreten, daß derartige Fälle sozusagen noch eine Zwischenstufe zwischen Leichtanomalen und Nor-

malen bilden, und gleichsam als Leichtestanomale den Farbentüchtigen bereits zu allernächst stehen. Die Störung wäre noch nicht so weit gediehen, daß die charakteristischen Mischungsgleichungen auf den ersten Blick anerkannt werden, sondern es bedarf hiezu einer gewissen Ermüdung. Diese gesteigerte Reaktion beherrscht dann das ganze Bild und setzt die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne am Spektralapparate noch weiter herab, als es sonst bei gleichmäßiger Ausbildung der sekundären Merkmale der Fall zu sein pflegt. Die weiteren abgeleiteten Symptome wären nur mehr in Andeutungen vorhanden, die aber genügten, ab und zu das Bestehen der Tafelproben zu beeinträchtigen. So ergibt sich hier in der Tat ein Grenzgebiet, welches je nach den theoretischen Anschauungen und der Untersuchungstechnik des einzelnen Prüfers, sowie den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln an Ausdehnung sehr bedeutend wechseln kann.

Das wesentliche wird immer die Unterscheidung bleiben, welche Farbenzusammenstellungen auf den ersten Blick für gleich gehalten werden, und welche erst nach längerem Betrachten. In der großen Mehrzahl der Fälle wird dieses Kriterium für die Diagnose ausreichen; es kommen aber doch seltene Fälle vor, wo die Farben so rasch und unvermittelt umschlagen, daß Zweifel entstehen können. Es wird z. B. die Normalengleichung glattweg anerkannt; dann bietet man die Deuteranomalen-Gleichung dar, die ebenso prompt Grün : Gelb genannt wird, aber fast im selben Augenblicke ist auch schon Gleichung eingetreten. Das Intervall kann sehr kurz sein, aber die Erscheinung bleibt doch so deutlich, daß sie kaum zu übersehen ist; bestätigt wird sie dadurch, daß die Gleichung nach kurzem Wegblicken wieder verschwunden ist. Auch bei der Normalengleichung kann man in solchem Falle ähnliches beobachten; sie wird z. B. sofort Orange: Gelb genannt, aber im Augenblick auch schon gleich gelb bezeichnet. Bei der Wichtigkeit dieser Ermüdungserscheinungen muß in jedem Falle genau auf das Symptom geprüft werden.

Bei der Aufnahme wären alle Fälle mit nur irgendwie ausgesprochener Ermüdungsreaktion zurückzustellen, bei Wiederholungsprüfungen nur jene, die Gleichung mit reinem Rot oder Grün annehmen oder bei den Tafelproben versagen. Für durchaus normal darf man solche Fälle gewiß nicht erklären, da es doch immerhin eine beträchtliche Veränderung der Reizwerte in der längerwelligen Spektralhälfte, beziehungsweise eine spezifische Funktionsschwäche der Netzhaut bedeutet, wenn derartige Wellenlängenunterschiede schon nach kurzer Betrachtung nicht mehr wahrgenommen werden.

Schließlich haben wir noch die Frage zu erörtern, wann der Farbensinn als normal zu bezeichnen ist. Daß die bloße Anerkennung der Normalengleichung dazu nicht genügt, wurde bereits

des öfteren hervorgehoben und sei nur nochmals mit dem Hinweise begründet, daß man bei einem derartigen Vorgehen alle Dichromaten für farbentüchtig erklären würde. Es gehört dazu vielmehr noch die rasche und bestimmte, unter objektiv richtiger Farbenbenennung erfolgende Ablehnung beider Anomalengleichungen, normale Unterschiedsempfindlichkeit, das Fehlen aller Ermüdungserscheinungen und die Abwesenheit jeder Kontraststeigerung. Ebenso muß das Fehlen aller sekundären Merkmale, und demgemäß tadelloses Bestehen bei den Tafelproben (und am Farbengleichungsapparate) gefordert werden. Nur wenn alle diese Voraussetzungen zutreffen, dürfen wir bedenkenlos auf durchaus normal erkennen.

Der Hergang einer solchen Prüfung ist glücklicherweise einfacher als seine Beschreibung, da sich ja in der Regel alles rasch abwickelt. Sind die zu stellenden Forderungen alle erfüllt, und ergibt sich daraus ein einheitliches klares Bild, so können wir unsere Entscheidung mit voller Beruhigung und Sicherheit treffen.

Leider geht es aber auch hier nicht immer so glatt, daß wir einfach zwischen ja und nein zu wählen hätten, da selbst bei diesem System, neben durchaus normalem Verhalten am Spektralapparate, mitunter verschiedene auf Farbenschwäche hinweisende Zeichen festzustellen sind, welche das Urteil wesentlich erschweren und insbesondere leicht zu Meinungsdifferenzen führen können. Ich habe unter reichlich **3000** am Anomaloskope vorgenommenen Einzeluntersuchungen **26** derartige Fälle gefunden, deren Prüfungsergebnisse mit den einfacheren Methoden in der nachstehenden Tabelle zusammengefaßt sind:

Anzahl der Fälle	Nagel	Stilling	Farbengleichungsapparat
20	+	—	+
1	—	—	—
2	—	—	+
1	—	fehlt	+
2	?	?	+
26			

Aus diesen Beobachtungen geht mit nicht anzuzweifelnder Sicherheit hervor, daß normales spektrales Verhalten keineswegs auch immer das Bestehen der Tafel- und Lampenproben garantiert und daß wir auch hier nicht eines für das andere setzen dürfen. Die Fälle sind allerdings selten. Wenn ich von den erwähnten 3000 Untersuchten rund 600 Farbenuntüchtige (i. e. Dichromaten und Anomale) abziehe, weil sie für diese Frage nicht in Betracht kommen,

so verteilen sich die 26 Fälle auf 2400 Geprüfte, woraus sich etwa ein zweifelhafter Fall auf 100 glatt Normale ergeben würde.

So stehen wir hier abermals vor der Frage, wie wir uns da theoretisch zurecht finden und praktisch urteilen sollen.

In ersterer Hinsicht liegt die einfachste Erklärung wohl in der Annahme, daß wir farbenschwache normale Trichromaten vor uns haben, wobei wir uns denken, daß spektrale Abweichungen überhaupt nicht vorhanden oder zur Zeit nur unserer Erkenntnis und unseren Hilfsmitteln noch nicht erreichbar sind (von Untersuchungsfehlern selbstverständlich abgesehen). Da wir aber unsere Entscheidungen nur auf unser heutiges Wissen und derzeitigen Prüfungsbehelfe stützen können, so obliegt uns in derartigen Fällen vor allem der Nachweis, daß das spektrale Verhalten wirklich nach allen Richtungen ein durchaus normales ist. Das glaube ich für die angeführten Fälle bestimmt behaupten zu dürfen, und ich könnte höchstens die Möglichkeit zugeben, in den älteren Fällen da und dort Ermüdungserscheinungen übersehen zu haben; doch halte ich auch das nicht für wahrscheinlich, da sie mir bei dem Suchen nach Anomalengleichungen, das ich auch in normalen Fällen niemals unterlassen habe, wohl aufgefallen wären.

Unter dieser Voraussetzung würde die Annahme von Farbenschwäche bei normaler Trichromasie wohl zu Recht bestehen, wenn es über jeden Zweifel erhaben wäre, daß Versagen bei den Tafelproben tatsächlich auch immer für Farbenschwäche beweisend ist.

Da müssen wir aber denn doch noch eine zweite Möglichkeit in Betracht ziehen, und die liegt in der Vorstellung, daß für das Lesen der Tafelproben nicht ausschließlich farbenphysiologische Qualitäten, sondern auch allgemeine psychische Funktionen in Betracht kommen, wie ja gerade Nagels Tafeln häufig als Intelligenzprobe bezeichnet werden. Die Unterscheidung von Grün, Grau und Braun, sowie von ungesättigten Farben überhaupt, kann für den einzelnen in der Tat eine intellektuelle Leistung vorstellen, der er aus Mangel an Übung oder individueller Lebenserfahrung nicht gewachsen ist[1]). Das sind dann jene Fälle, in denen diese Fähigkeiten erlernt werden können, während dies bekanntlich bei angeborenen Farben-

[1]) Selbstverständlich muß man bei einer derartigen Annahme die größte Vorsicht walten lassen, und es wird gut sein, sich gegebenenfalls immer Nagels Bemerkung gegenwärtig zu halten: „Es ist ja gerade eine der interessantesten Feststellungen unserer Anomalenforschung, daß das, was man früher für ‚Farbendummheit' und Ausdruck mangelnder Intelligenz hielt, in Wirklichkeit meistens auf der verlangsamten Entwicklung des Farbeneindruckes beruht und daß diese früher für dumm gehaltenen Leute größtenteils Anomale sind". (Schlußwort über Herrn A. Guttmanns Prioritätsreklamationen in der Anomalenforschung. Zeitschrift f. Sinnesphys, Bd. 43, S. 418.)

sinnstörungen über den Rahmen sekundärer Kriterien hinaus nicht möglich ist. Auch Mangel an Aufmerksamkeit, neurasthenische Ermüdbarkeit und physische Ermüdung können sich hemmend geltend machen; Aufregung, Befangenheit und Ängstlichkeit die psychischen Prozesse stören, und es ist keineswegs immer leicht, diese Einflüsse richtig zu erkennen und nach Bedarf auszuschalten. Doch will ich mich auf derartige Spekulationen nicht näher einlassen, sie sollten nur so weit entwickelt werden, als man sie zum Verständnisse derartiger Beobachtungen heranziehen kann. Auf alle Fälle empfiehlt es sich, diese Möglichkeit im Auge zu behalten, und ich schließe aus meiner Erfahrung, daß man mit einer derartigen Annahme den tatsächlichen Verhältnissen oftmals am nächsten kommt.

Besieht man sich daraufhin die in obiger Tabelle verzeichneten Fälle etwas genauer, so fällt vor allem auf, daß Stillings Tafeln 20mal Störungen anzeigten, die mit Nagel nicht bestätigt werden konnten. Die Beobachtungen werden verschiedene Deutung finden. Die einen werden darin einen neuen Beweis erblicken, daß Nagels Tafeln eben nichts taugen; die anderen werden sie gerade deshalb für das feinere, von allgemeinen psychischen Funktionen weniger abhängige Untersuchungsmittel halten, und gewiß ist es auch eine geringere intellektuelle Leistung, den Farbenunterschied zweier neben einander stehenden Punkte wahrzunehmen, als zahlreiche, zum Teil recht ungesättigte, dazu noch in ihrer Form verzogene Tüpfel zu einer Zahl zusammenzufügen. Da weder am Anomaloskope, noch am Farbengleichungs- oder Dreilichterapparate irgendwelche Abweichungen nachzuweisen waren, so kann man wohl annehmen, daß Nagels Tafeln hier das richtige angezeigt haben.

Besonders merkwürdig war die in der zweiten Rubrik angeführte durchaus singuläre Beobachtung. Die Prüfung mit Nagels Tafeln ergab die bei typischen Anomalien üblichen Zeichen: Versagen bei Grün und Grau; *B1* wurde einfarbig gelb, *B3* als einfarbig grün bezeichnet; bei *B2* rot, braun und grün angegeben. Von Stilling XIII wurden fünf Tafeln nicht gelesen. Am Gleichungsapparate wurde die dritte Einstellung (Rot: Gelb) bestimmt Rot: Grün genannt. Dreilichterapparat tadellos. Mit dem Spektralapparate war bloß gesteigerter Kontrast nachzuweisen (die Protanomalen-Gleichung wurde als Rot: Grün bezeichnet); sonst wurde nur die Normalen-Gleichung angenommen und jede weitere Rot- oder Grünzumischung abgelehnt; Unterschiedsempfindlichkeit scharf. Dabei war der Geprüfte ganz intelligent und antwortete durchaus prompt. Es lag also hier wohl ein Fall von typischer Farbenschwäche bei normalen Mischungsverhältnissen am Spektralapparate vor.

In den nächsten drei Fällen, die ältere Arbeiter betrafen, schien es sich um mangelhafte Intelligenz zu handeln, denn die Farbenunter-

scheidung und Benennung war eine außerordentlich dürftige. Dem einen war es absolut nicht beizubringen, um was es sich bei Nagels Tafeln eigentlich handle, und von Stilling wurde auch bei längstem Betrachten nichts entziffert. Ähnlich war es in den zwei anderen Fällen, ihre Personalblätter tragen den Vermerk: entsetzlich ungeschickt. Nur einer zeigte leichte Kontraststeigerung am Spektralapparate, sonst war in allen drei Fällen weder hier, noch am Farbengleichungs- oder Dreilichterapparate etwas abnormes zu ermitteln.

In den zwei letzten fraglichen Fällen (1 Kandidat und 1 Schrankenwächterin) wurden schließlich wohl beide Proben unter beständiger Nachhilfe äußerst langsam entziffert; doch mußten beide Bewerber abgewiesen werden, weil auch die Angaben am Dreilichterapparate ganz unbestimmt lauteten und beständig zwischen richtig und unrichtig wechselten. Es lag beidemal exquisite Farbenschwäche vor.

Bei der praktischen Beurteilung derartiger Fälle wird es somit vor allem darauf ankommen, ob das Versagen bei den einfacheren Proben wirklich auf Farbenschwäche oder allgemeine psychische Insuffizienz zurückzuführen ist. Diese Entscheidung wird sich meist schon im Laufe der Farbensinnprüfung ergeben; der Wortschatz an Farbenbezeichnungen und die grobe Farbenunterscheidung wohl am besten an den Wollbündeln; sollte dies nicht der Fall sein, so kann man eine kurze Intelligenzprüfung anschließen, die mit Zuspitzung auf den bestimmten Zweck rasch die erforderlichen Anhaltspunkte bieten wird[1]). Ergibt sich ein psychischer Defekt als Ursache, so müßte dieser für sich eingeschätzt werden, auch wenn die spezifische Farben-Empfindung und -unterscheidung in gewissen Grenzen nicht angezweifelt werden kann. Weisen die Resultate auf wirkliche Farbenschwäche, so wird der Grad derselben in wiederholten sorgfältigen Untersuchungen genau festzustellen sein. Besonderen Wert lege ich dabei auf den Dreilichterapparat[2]), da hier oft noch prompt geantwortet wird, wo den Tafelproben gegenüber absolute Unbeholfenheit besteht; es handelt sich eben hier um die Erkennung und Benennung von Lichtern, die älteren Bediensteten durch langjährige Übung wohl vertraut sind. Ist die Farbenschwäche eine nur irgendwie erhebliche, dann wird man trotz normalem Befunde am Anomaloskope auf farbenuntüchtig erkennen müssen.

In gleichem Sinne äußert sich Köllner[3]): „Derartige Farbenschwache müßten ebenfalls als farbenuntüchtig zurückgewiesen werden,

[1]) Es gibt dazu bekanntlich zahlreiche Anleitungen; ich erwähne: Die Prinzipien und Methoden der Intelligenzprüfung. Von Prof. Dr. Th. Ziehen, Berlin, Karger. 1909.

[2]) Versuche mit Eisenbahn-Signallichtern an Personen mit normalem u. abnormem Farbensinn. Von W. A. Nagel. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. Bd. 41, S. 455.

[3]) Die Störungen des Farbensinnes, S. 61.

trotz normaler Rayleigh-Gleichung". Auch seine Diskussionsbemerkung anläßlich der Vorstellung von zwei Soldaten der Eisenbahnbrigade in der Berliner ophthalmologischen Gesellschaft durch Napp widerspricht dieser Auffassung nicht. Beide Fälle verhielten sich am Anomaloskope, der Farbengleichungslampe und dem Dreilichterapparate vollständig normal, zeigten aber teilweises Versagen bei den Tafelproben. Köllner sagte[1]): „Bisher konnten alle Fälle, in denen Bahnaugenärzte am Anomaloskope normales Verhalten gefunden hatten, während die Prüfung mit Nagel und Stilling Anomalien ergab, bei der Nachprüfung am Anomaloskope als farbenschwach erkannt werden. Die beiden Fälle von Napp sind die ersten, wo dies nicht möglich war." Köllner möchte beide Soldaten praktisch als farbentüchtig betrachten. Daraus kann man wohl nur schließen, daß die Untersuchung der Fälle einen nennenswerten Grad von Farbenschwäche eben nicht ergeben hat.

Wie man sieht, ist auch die Feststellung des normalen Farbensinnes und ganz besonders jene der Farbentüchtigkeit keineswegs immer eine so leichte Aufgabe. Auch hier darf sich der Obergutachter nicht mit der Untersuchung am Anomaloskope begnügen, denn man verlangt von ihm weniger Aufschluß über die Zugehörigkeit zu einem bestimmten System, als über das praktisch verfügbare Farbenunterscheidungsvermögen. Er muß daher zum mindesten noch mit Nagels und Stillings Tafeln prüfen, und auch Holmgrens Probe wird bei Dichromasien gelegentlich ganz ausgezeichnete Dienste leisten; der Farbengleichungsapparat, oder noch besser Köllners Farbengleichungslampe, werden in zweifelhaften Fällen sehr oft eine willkommene und wertvolle Ergänzung bilden, und der Dreilichterapparat bietet die richtige praktische Prüfung auf der Strecke.

Ich möchte nicht unterlassen, die oben versuchte Umgrenzung des wissenschaftlichen Begriffes „normaler Farbensinn" nochmals ausdrücklich zu betonen, und dringend empfehlen, nicht aus dem Auge zu lassen, daß er keineswegs immer mit „farbentüchtig" zusammenfällt. Beide Begriffe sind durch die Erfahrungen der letzten Jahre wesentlich genauer differenziert und dadurch immer mehr eingeengt worden.

Als Nagel die Bezeichnung „farbenuntüchtig" einführte, handelte es sich zunächst darum, die Farbenuntüchtigkeit der Anomalen, die damals noch von verschiedenen Seiten sehr energisch angefochten wurde, zu allgemeiner Anerkennung zu bringen; durch ihre Zusammenfassung mit den Dichromaten in die große Gruppe der Farbenuntüchtigen sollte zum Ausdruck gebracht werden, daß beide Formen für die praktische Betätigung gleich gefährlich seien. Die Grund-

[1]) Zentralblatt f. AHK. Februar 1913. Bericht üb. d. Sitzung v. 23. Jänner.

lage für die Diagnose und die darauf gestützte praktische Beurteilung bildete ausschließlich die Prüfung am Anomaloskope, da wir nur mit Hilfe der optischen Gleichungen die Zugehörigkeit zu einem der drei Systeme bestimmen können.

Diese Anschauungen haben sich seither aber vielfach geändert, und die alten Formen fassen den neuen Inhalt nicht mehr. Wir kennen jetzt (spektral) Normale (das waren nach der früheren Definition immer auch Farbentüchtige), die wir wegen zugleich bestehender Farbenschwäche für farbenuntüchtig erklären müssen, und anderseits Anomale (i. e. in älterem Sinne stets Farbenuntüchtige), die wir wegen des Fehlens von Farbenschwäche noch als farbentüchtig gelten lassen. Wenn wir demnach in einem Falle, der durchaus normales spektrales Verhalten aufweist und alle sekundären Merkmale vermissen läßt, von ‚farbentüchtig' sprechen, so meinen wir damit ein ganz anderes (sozusagen bestes!) Farbenunterscheidungsvermögen, als wenn wir in einem Falle von ausgesprochener spektraler Anomalie dieselbe Bezeichnung gebrauchen, weil er zufällig ohne Farbenschwäche einhergeht. Ich würde es daher für zweckmäßig halten, dieses so wesentlich abweichende Verhalten gleich in der Diagnose zum Ausdruck zu bringen, was ja leicht möglich ist, wenn wir zwischen typisch Anomalen (Anomalengleichung + Farbenschwäche), Anomalen ohne Farbenschwäche, und farbenschwachen normalen Trichromaten unterscheiden. Im ersten Falle sprechen wir von „farbenuntüchtig" schlechtweg; im zweiten Falle erklären wir das Farbenunterscheidungsvermögen für „noch ausreichend"; und im letzten Falle lautet das Urteil auf „farbenschwach, untüchtig". Die Beobachtungen der zweiten und dritten Gruppe wären damit zugleich als Kompromißfälle gekennzeichnet, deren Beurteilung immer ganz besondere Sorgfalt und Sachkenntnis erfordert und vielfach persönlich bleiben wird, da sich allgemein giltige Regeln hier kaum aufstellen lassen.

Durch eine derartige Bezeichnung dürfte das jeweilige Farbenunterscheidungsvermögen genügend charakterisiert und eine ausreichende gegenseitige Verständigung gegeben sein. Je genauer wir die einzelnen Fälle nach dieser Richtung hin analysieren, um so klarer und begründeter werden die Entscheidungen ausfallen, und um so eher wird es gelingen, das gesamte Beobachtungsmaterial nach diesen Gesichtspunkten zu ordnen; nur auf diese Weise ist auch ein Fortschritt in der Erkenntnis zu erwarten.

Anschließend möchte ich noch einige Worte über die allgemeine Begutachtung sagen. Man darf heute wohl als feststehend annehmen, daß die Beurteilung einer fraglichen Farbensinnstörung in letzter Instanz in streng sachlicher Weise ohne Prüfung mit spektralen Lichtern

nicht mehr möglich ist. Die letztere ist denn auch bei den deutschen und österreichischen Eisenbahnen in allen zweifelhaften Fällen obligatorisch, in Preußen für das Lokomotivpersonal von vornherein allein maßgebend.

Ich meine, daß diese Vorschriften auch von jenen außenstehenden Ärzten gewürdigt werden sollten, die sich berufen fühlen, Obergutachten über Farbensinnstörungen abzugeben.

Es ist gewiß menschlich sehr begreiflich, wenn ein Eisenbahnbediensteter, der durch ein ungünstiges Gutachten in seinem Fortkommen schwer bedroht ist, sich mit der Entscheidung des zuständigen Bahnarztes nicht ohne weiteres zufrieden gibt, sondern Spezialärzte aufsucht, von denen er annimmt, daß sie in solchen Fragen besser orientiert sind. Da sollte man nun allerdings voraussetzen, daß solche Zeugnisse nur von jenen Fachärzten ausgestellt werden, die über die Bedingungen, an welche die Farbentüchtigkeit im Eisenbahndienste geknüpft ist, genau unterrichtet sind, welche die wissenschaftliche Seite dieser Frage beherrschen, und denen die für eine solche Prüfung vorgeschriebenen Behelfe zur Verfügung stehen.

Leider trifft dies nicht immer zu. Ausgesprochen Anomale mit sehr deutlichen sekundären Symptomen kommen nachträglich mit Zeugnissen, (deren Verfasser mitunter hohe Stellen in der wissenschaftlichen Hierarchie bekleiden), die nichts anderes sagen, als daß der Geprüfte normalen Farbensinn aufweise und zu jedem Eisenbahndienste geeignet sei. Es ist daraus weder zu entnehmen, was unter normalem Farbensinn verstanden wird, noch mit welchen Methoden untersucht wurde und mit welchen Ergebnissen. Eine solche Bestätigung mag in dem Sinne, welchen der jeweilige Prüfer dem Begriffe „normaler Farbensinn" unterlegt, vollständig richtig sein, aber sie trifft nicht jenen Grad von Farbentüchtigkeit, wie er für den Eisenbahndienst vorgeschrieben ist und ohne Untersuchung am Anomaloskope nun einmal nicht festgestellt werden kann.

Es ist daher leicht begreiflich, daß derartige Bescheinigungen (ich habe hier nur jene Fälle im Auge, die ohne Prüfung mit spektralen Lichtern begutachtet werden) bei dem Hilfesuchenden meist unerfüllbare Hoffnungen erwecken, weil ihre Unvollständigkeit und damit auch sachliche Unrichtigkeit leicht zu erweisen ist: dem Bahnarzte und der Verwaltung schaffen sie aber arge Verlegenheiten. Die meist unter großen Schwierigkeiten mit tunlichster Berücksichtigung der Interessen des Betroffenen kaum geordnete Angelegenheit wird neuerdings aufgerollt, und da die Beurteilung keine andere sein kann, die Verbitterung nur größer, das Vertrauen in die getroffenen Entscheidungen geringer und die Anfeindung des Bahnarztes immer heftiger. Derselbe mag noch so sehr nach bestem Wissen und Gewissen und noch so

zutreffend untersucht und geurteilt haben, er hat ohnehin so gut wie immer das Odium zu tragen, mit dem ihn der Klient für die Schädigung seiner Existenz voll belastet, denn schuld ist immer nur der Arzt, der ein Gebrechen konstatiert, niemals dieses selbst. Nun erhält er durch die bestimmungswidrige und deshalb sachlich unrichtige Begutachtung von einer wissenschaftlich höher stehenden Instanz auch noch seine Unwissenheit und Fahrlässigkeit bescheinigt, denen von dem Geschädigten oft genug noch böser Wille zugeschlagen wird.

Wenn die betreffenden Fachmänner nur einmal die Eingaben lesen könnten, mit denen diese rettenden Zeugnisse den Verwaltungen vorgelegt werden — die Amovierung des absolut unfähigen und gewissenlosen Arztes gilt da meist als eine ganz selbstverständliche Forderung, — dann würden diese Spezialärzte mit der Ausstellung derartiger Bescheinigungen vielleicht doch etwas vorsichtiger sein, und auch wir Bahnärzte könnten auf eine billige Schonung und Einhaltung kollegialer Rücksichten rechnen. Dabei bin ich vollkommen überzeugt, daß sich der ganze Vorgang oft nur unbedachter Weise und vollständig bona fide abspielt.

Es braucht wohl kaum betont zu werden, daß hier nicht etwa einem Vertuschungssystem das Wort geredet werden soll, sondern der Wahrheit muß unbedingt immer und überall die Ehre gegeben werden. Aber die ist eben unter den gegebenen Verhältnissen nicht mit irgend einer Tafel- oder Stiftprobe zu ermitteln, sondern es muß der ganze vorgeschriebene Untersuchungsgang durchgenommen werden, und auch dann können sich für die praktische Beurteilung eines besonderen Falles immer noch Schwierigkeiten ergeben, die ohne genauere Kenntnis der Dienstverhältnisse nicht leicht zu beheben sind. Ich würde glauben, daß sich wohl auch bei wirklichen Fehlern mit einigem guten Willen und gegenseitiger Achtung immer eine konziliante Form für die nötige Remedur finden ließe. Jedermann sollte des Grundsatzes eingedenk bleiben: je höher der Rang, um so strenger die Verpflichtung zu absoluter Sachlichkeit und kollegialer Untadeligkeit.

VI. Die Tafelproben von Nagel und Stilling.

Von den einfacheren Methoden, die wir in der Praxis zur Farbensinnprüfung zu benützen pflegen, sollen nur Nagels und Stillings Proben ausführlicher besprochen werden.

Die Dichromaten werden in der Regel mit beiden Proben gleich verläßlich erkannt. Die gegenteilige Behauptung zu ungunsten der Nagelschen Tafeln habe ich oben bereits gekennzeichnet[1]). Hier möchte ich nur hinzufügen, daß es auch da Ausnahmen zu geben scheint.

Ich habe zwei Protanopen gesehen, die so obenhin an diesen Tafeln nur Grün-Grau-, Rosa-Grau- und Rosa-Braun-Verwechslungen begingen, und zwar in so geringem Ausmaße, daß man höchstens an Anomalie, aber keineswegs an Farbenblindheit denken mochte. Die Erscheinungen waren sonst so typisch (Stilling beide Male ausgesprochen negativ), daß ein Irrtum in der Diagnose ausgeschlossen erscheint. Ich hatte beide Male den Eindruck, daß die Ergebnisse sehr wesentlich vom Zufalle beeinflußt waren; das Farbenunterscheidungsvermögen ist eben in solchen Fällen derart herabgesetzt, daß alles mögliche gleich und wieder ungleich erscheint. Es kommen hier offenbar ebenso feinste Helligkeitsunterschiede in Betracht, wie bei der Prüfung am Anomaloskope, so daß der Eindruck beim ersten Hinblicken ein ganz anderer sein kann, als bei genauerem Zusehen; sobald ich nämlich schärfer auf die einzelnen Tafeln einging, zeigten sich sofort die gröbsten Defekte. Die diversen Proben reagieren eben auf die einzelnen Fälle von Farbensinnstörung oftmals ganz verschieden, und es dürfte schwer sein, für einzelne derselben die Größe des Ausschlags festzustellen; es liegt da vielmehr eine unabänderliche Tatsache vor, mit der wir eben rechnen müssen. Als ich dem einen dieser Protanopen z. B. das Holmgrensche Purpurbündel in die Hand gab, legte er sofort der Reihe nach die rein blauen Strähne zu, während er z. B. bei Nagel *A* 15 die zwei einzigen grauen unter den Rosa-Punkten richtig anzeigte; später nannte er sie dann allerdings wieder grün, und es ist sehr begreiflich, daß da verschiedene Beobachter weit abweichende Resultate erhalten können. Das beständig wechselnde, aparte, oft geradezu paradoxe Verhalten den

[1]) Siehe S. 106.

einzelnen Methoden gegenüber gehört eben sozusagen mit zum Wesen der Protanopie. Auch bei Stargardt[1]) finden sich zwei ähnliche Fälle.

Über einen derartigen Fall von Protanopie besitze ich auch die Bescheinigung des Erfinders einer bekannten Methode, daß der damit Geprüfte „gutes Farbensehen" aufweise. Am Anomaloskope lagen hochgradige Störungen (bald im Sinne einer Protanopie, bald einer Protanomalie) vor, insbesondere eine kaum glaubliche Unbestimmtheit der Farbenempfindung; die Urteile wurden oft, kaum ausgesprochen, schon wieder zurückgenommen, und die Farbenbilder wechselten auch bei nur kurzem Hineinblicken beständig. Gleichungs- und Dreilichterapparat waren negativ, ebenso Nagel, Stilling und Holmgren, die letzteren aber nicht gerade sehr auffallend oder typisch; interessanterweise zeigte auch die Probe, die zu der oben erwähnten Begutachtung geführt hatte, ein negatives Ergebnis.

Ich habe den Fall wiederholt genau untersucht, und er machte bald den Eindruck eines Protanomalen, bald den eines ausgesprochenen Protanopen. Der sehr intelligente junge Mann, dem die abweichende Art seines Farbensehens sehr wohl bekannt war, wies die ihn selbst überraschende Bestätigung nur zögernd und zweifelnd vor. Es scheint in der Tat, daß bei der Untersuchung derartiger Formen mit Pigmentproben der Zufall eine große Rolle spielen kann.

Bei Deuteranopen habe ich derartiges niemals gesehen, sondern sie begehen meist ganz charakteristische Fehler. Sie sind es in erster Linie, welche bei der Frage nach roten Punkten auf die Tafeln *A* 6, 11 und 12 und bei der Frage nach nur roten Punkten auf *A* 12 zeigen, da Gelbgrün und Gelbbraun für sie Gleichung mit Rot geben. Bei Protanopen ist dies viel seltener der Fall — ich konnte die Erscheinung unter meinen 80 Beobachtungen nur 27 mal konstatieren —, so daß darin ein nicht unwesentliches differentialdiagnostisches Zeichen liegt.

In allen Fällen, wo man bei scheinbar wenig abweichendem Tafelbefunde am Anomaloskope Gleichungen zwischen Gelb und homogenem Rot oder Grün erhält, empfiehlt es sich, sehr genau auf Ermüdungserscheinungen zu achten, sonst kann man leicht in ein falsches System geraten; dabei dienen die vom Typus abweichenden Helligkeitsverhältnisse vor allem als Fingerzeig.

Bei den Anomalen handelt es sich hauptsächlich um die Frage, wie wir die sekundären Merkmale oder, was wir wohl als gleichbedeutend nehmen können, die Farbenschwäche mit den Tafelproben feststellen.

Die Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne (welche hier von der absoluten Veränderung der Reizwerte durch Kurvenverschiebung kaum zu trennen ist), zeigt sich bei Nagel besonders in der Verwechslung von Grün, Grau und Braun; bei den extremen Formen, sowie den Protanomalen kommen gelegentlich auch Rosa-Grau-Verwechslungen vor, indem z. B. *A* 15 (Rosa mit zwei grauen Punkten) als einfarbig rot bezeichnet wird, oder sie nennen

[1]) Diagnostik der Farbensinnstörungen, S. 33.

einzelne Punkte des grauen Ringes rot; sehr selten wird das Braun auf *B* 2 und 4 rot genannnt.

Die Abhängigkeit von Lichtstärke und Helligkeit zeigt sich darin, daß die lichtschwachen Punkte überhaupt nur sehr unsicher erkannt werden und eine Prüfung bei herabgesetzter Beleuchtung (z. B. an einem trüben Tage), die einen Normalen nicht im geringsten geniert, schon ein bedeutend schlechteres Resultat zutage fördert; eine bekannte Erscheinung, welche häufig den abweichenden Ergebnissen verschiedener Prüfer zugrunde liegt.

In welch auffallender Weise sich der Gesichtswinkel bemerkbar macht, wurde bereits hervorgehoben. Aufrecht vor Nagels Tafeln stehend, sind einzelne Anomale ganz unsicher und begehen die gröbsten Fehler; wie man ihnen aber gestattet, sich auf die Tafeln niederzubeugen, hebt sich das Unterscheidungsvermögen sofort ganz wesentlich (von Refraktionsanomalien selbstverständlich abgesehen); auch dieses Moment veranlaßt nicht selten verschiedene Resultate einzelner Prüfer. In ähnlicher Weise kann man Defekte, die bei Betrachtung aus der üblichen Distanz etwa der Wahrnehmung entgehen, sofort offenkundig machen, wenn man den Gesichtswinkel durch weiteres Entfernen der Tafeln verkleinert, z. B. durch Ausbreiten auf einem Sessel vor dem aufrecht stehenden Beobachter.

Die Erschwerung des Examens, welche durch die verlängerte Erkennungszeit für Farben herbeigeführt wird, ist jedem Prüfer zur Genüge bekannt; sie kombiniert sich jedoch so häufig mit Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit und gesteigerter Ermüdbarkeit, daß diese für die Diagnose so wesentlichen Symptome an den Tafeln kaum isoliert festzustellen sind. Es gilt dies in erhöhtem Grade für Stillings Tafeln, wo es sich darum handelt, die einzelnen Punkte zu einer bestimmten Zahl zusammenzuschließen. Der zu Prüfende betrachtet die Tafeln oft endlos lange von allen Seiten, ohne zu einem Resultat zu kommen; inzwischen machen sich die erhöhte Ermüdbarkeit und die dadurch noch weiter gesteigerte Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit in einer Weise geltend, daß er häufig erklärt, nicht mehr weiter zu können, weil ihm alles durcheinanderschwimme.

Sehr deutlich ist an Nagels Tafeln die Kontraststeigerung nachzuweisen. Nahezu belanglos ist es, wenn die zwei grauen Punkte auf *A* 15 grün oder grünlich genannt werden. Ich habe bei 500 Farbentüchtigen speziell darauf geachtet und konnte feststellen, daß die Punkte in 63% der Fälle grün oder grünlich, in 19% graugrün und nur in 18% bestimmt grau genannt wurden. Dagegen kommt es niemals vor, daß Farbentüchtige das Braun von *B* 2 und 4 als Grün ansprechen, sondern es ist dies ein charakteristisches Zeichen der Anomalen. Die beiden Tafeln sind sowohl in der Anordnung der zwei Farben (Rot

und Braun), sowie in der Abstufung der nebeneinanderstehenden Punkte nach Farbenton und Sättigung verschieden, und es hängt ganz von der Stimmung des Sehorganes ab, an welcher Stelle des Ringes der Kontrast hervortritt; man muß häufig speziell danach fragen (ob nicht auch Grün vorhanden sei), sonst begnügen sich die Untersuchten mit der Angabe von Rot und Braun. Daß der Kontrast auch die übrigen Farbenschwellen der Anomalen in mannigfacher Weise beeinflußt, wurde oben bereits erwähnt (Seite 100).

Von Stillings Tafeln kann man nur sagen, daß die Anomalen in überwiegender Mehrzahl der Fälle nicht imstande sind, die Zahlen zu entziffern, ohne daß sich näher bestimmen ließe, in welcher Anzahl und in welchem Ausmaße die sekundären Eigenschaften an diesem Unvermögen beteiligt sind. Durch genaueres Befragen über die Farben des Grundes und der Ziffern kann man allerdings mancherlei Aufschluß erhalten, so namentlich über das Verhalten des Kontrastes.

Nagel[1]) hat dem Problem, welche Bedingungen in der Beschaffenheit des Licht- und Farbensinnes erfüllt sein müssen, damit die Fähigkeit resultiert, Stillings Tafeln zu erkennen, bisher wohl die eingehendsten Studien gewidmet. Am nächsten liege es ja, daran zu denken, daß die im Drucke der Tafeln verwendeten Farben so gemischt seien, daß Ziffern und Grund sich wohl für den Normalen scharf voneinander abheben, nicht aber für den Anomalen, für dessen abweichendes Farbensystem das Aussehen der Mischung ein anderes ist. Nagel hält diese Auffassung nicht für zutreffend, da die Differenzen in der Farbenmischung, die bestenfalls erzielt werden könnten, nicht entfernt ausreichen würden, die tatsächlich beobachtete Wirkung hervorzubringen. Ebenso erklärt er es für ausgeschlossen, daß die herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne die Unlesbarkeit der Tafeln für die Anomalen bedinge, da diese Herabsetzung bei vielen Anomalen nicht bedeutend sei, und es sich bei den Tafeln meist um Nebeneinanderstellung von Farben handle, die im Spektrum weit auseinanderliegen. Nagel sucht den Grund der Unlesbarkeit vielmehr in der Eigentümlichkeit, daß die Anomalen bedeutend längere Zeit brauchen, um den vollen charakteristischen Eindruck einer Farbe zu erhalten. Sie finden die farbigen Punkte wohl heraus und können die Zahlen mühsam lesen, wenn sie ihren Zügen mit dem Finger oder einem Stabe folgen und so das Muskelgefühl zu Hilfe nehmen dürfen; nur mit dem Blicke folgend vermögen sie aber die einzelnen Punkte nicht zu einer erkennbaren Figur zusammenzuschließen. Nimmt man den Abstand größer, wo sie vielleicht die ganze Zahl mit einem Blicke erfassen könnten, dann tritt wieder der zu kleine Gesichtswinkel hindernd

[1]) Fortgesetzte Untersuchungen . . . S. 258.

in den Weg. Demgemäß meint Nagel, daß die Fähigkeit der Entzifferung durch Übung sehr bedeutend gesteigert werden könne.

Guttmann[1]) ist in diesem Punkte anderer Meinung; er sieht den Grund der Unlesbarkeit von Stillings Tafeln für die Anomalen in ihrer erhöhten Abhängigkeit von der Helligkeit und Sättigung der Farben. Sie seien überhaupt nicht imstande, die einzelnen sehr ungesättigten und hellen roten (rosa) Punkte von braunen oder orangefarbenen zu unterscheiden; dazwischen stünden nun freilich leuchtend farbige (rote) Punkte, die wirkten aber ihrerseits erschwerend auf die Erkennung der benachbarten rotbraunen oder grauroten Punkte, indem sie diese durch Kontrast grün erscheinen lassen, wodurch das Auge bei Verfolgung der Zahlenlinien aus der Richtung abgelenkt werde. Er selbst könne trotz wochenlanger Versuche, bei denen er täglich $^1/_2$ Stunde Lesen übte, außer Tafel 1 und 10 keine Zahl erkennen[2]).

Das Rätsel dieses „fein ersonnenen und mit unermüdlichem Bemühen in immer wieder modifizierter Form hergestellten Untersuchungsmittels" (Nagel) ist somit noch lange nicht gelöst. Am nächsten liegt wohl die Annahme, daß auch hier nicht ein einzelnes Moment das ausschlaggebende ist, sondern alle aufgezählten Eigentümlichkeiten in verschiedener Zahl und wechselndem Ausmaße zusammenwirken und so die zahllosen Abstufungen von der erschwerten Entzifferung bis zur vollständigen Unlesbarkeit bedingen.

Bei Würdigung dieser zahlreichen, so außerordentlich variablen äußeren und inneren Momente (zu denen in gewissem Sinne auch noch die allgemeine somatische und psychische Verfassung zu rechnen ist), welche das Verhalten der Anomalen gegen die Tafelproben auf das allerverschiedenste beeinflussen, wird es nicht wundernehmen, daß die Kombination der hemmenden und fördernden Kräfte zufällig einmal eine derartige sein kann, daß ihre Resultante die Lesbarkeit einer oder der anderen Probe nicht beeinträchtigt und diese demnach auch bestanden wird. Ebenso leicht ist es zu verstehen, daß die Ergebnisse verschiedener Prüfer, oder eines und desselben zu verschiedenen Zeiten, nicht immer genau übereinstimmen, da diese Unbeständigkeit in gewissem Sinne mit zu den Eigentümlichkeiten des anomalen Systems gehört und abweichende Resultate daher keineswegs immer a conto des jeweilig verwendeten Untersuchungsbehelfes zu setzen sind. Dabei müssen wir uns weiter gegenwärtig halten, daß unsere Pigmentfarbenskalen doch nur ein recht dürftiger Maßstab für die 160 Farbentöne des normalen, sowie auch für die entsprechend reduzierte Zahl des anomalen Spektrums abgeben können und unsere Bestimmungen daher immer ziemlich rohe und beiläufige bleiben werden. Die Leistungen der Technik,

[1]) l. c. Bd. XLII, S. 268 und Bd. XLIII, S. 153.

[2]) Gemeint ist die X. Ausgabe.

welche uns heute schon in den Stand setzen, mit Farbendrucken eine in ihrem praktischen Wert sehr hoch anzuschlagende Abschätzung des Farbenunterscheidungsvermögens vorzunehmen, verdienen demnach volle Bewunderung. Gewiß sind diese Hilfsmittel noch einer weiteren Vervollkommnung fähig, und es müßte wohl möglich sein, auch für jene Anomalen, die sich unseren derzeitigen Proben gewachsen zeigen, Tafeln anzufertigen, welche die Minderwertigkeit dieser Fälle auf sekundärem Gebiete deutlich nachweisen würden. Damit gelangen wir aber, selbst bei noch so sorgfältiger Synthese aller halbwegs gleichen Bilder, bald zu individuellen Proben, und wir müßten dann bei den Prüfungen ganze Albums betrachten lassen, ohne selbst da noch eine Garantie zu haben, daß dieses auch wirklich gerade das für die Erkennung des Einzelfalles erforderliche Muster enthalte. Es werden also unseren Bestrebungen hier immer gewisse Grenzen gezogen bleiben, jenseits deren eben das Anomaloskop in seine unbestreitbaren Rechte tritt. Doch sind dies lauter ganz selbstverständliche Dinge, die ich nur als Einleitung für die folgende Betrachtung in Erinnerung bringen wollte.

Über die Wertigkeit von Nagels und Stillings Tafeln ist gerade in letzter Zeit ein lebhafter Streit entbrannt, der nahezu mit persönlicher Heftigkeit geführt wurde. Die Alarmrufe, welche dabei über die durch ausschließliche Verwendung von Nagels Tafeln angeblich bedrohte Verkehrssicherheit ertönten, stützten sich auf die nicht mehr ganz neue Tatsache, daß es Anomale gibt, welche Nagels Tafelprobe bestehen, bei Stilling aber versagen. Es ist dies, wie gesagt, eine schon ältere Erfahrung, die früher oder später keinem Gutachter erspart bleibt, ebensowenig, wie die Beobachtung des gegenteiligen Verhaltens: Bestehen von Stilling und Versagen bei Nagel. Die Angreifer (Augstein, Seydel, Stargardt und Oloff) stehen dabei im Lager Stillings, und Nagels Tafeln kommen recht schlecht weg.

Sie erforderten eine genaue Kenntnis des Prinzips derselben, seien viel zu sehr Intelligenzprüfung, gestatteten keine Spezialdiagnose, und ihre Verwendung sei abspannend und geisttötend; andere wieder standen ihnen von allem Anbeginn mit größtem Mißtrauen gegenüber und finden dasselbe nun glänzend gerechtfertigt; ja auch der schon stark abgenützte Vorwurf von der Verwerflichkeit der dabei notwendigen Farbenbenennung wird wieder hervorgeholt, und das Schlußergebnis lautet dahin, die Tafeln seien unzuverlässig und nur beschränkt brauchbar, weil die damit erhobenen Befunde mit jenen am Anomaloskope gewonnenen nicht übereinstimmten. Vor allem aber wird gegen das Monopol Sturm gelaufen [1]).

Wer etwa ohne eigene Erfahrung und sonstige Literaturkenntnis nur diese Arbeiten lesen würde, müßte eigentlich zu der Meinung

[1]) Bei den preußisch-hessischen Staatseisenbahnen sind Nagels Tafeln als einziges Prüfungsverfahren vorgeschrieben.

kommen, Nagel sei ein recht unwissender Sachverderber gewesen, einzig und allein von dem brennenden Ehrgeize erfüllt, seine fraglichen Tafeln zur allgemeinen Einführung zu bringen und andere Proben, namentlich die viel bessere Stillingsche, zu verdrängen; ja es wird fast so hingestellt, als ob Nagel bewußt minderwertiges empfohlen und nur rasch noch das Anomaloskop dazu erfunden hätte, um die auffallendsten Blößen seiner Tafeln zu decken.

Seydel[1]) schreibt: „Auch Nagel scheint doch allmählich, wenn auch nicht zugestandenermaßen, dessen inne geworden zu sein, daß seine Tafeln nicht den Anspruch auf so absolute Sicherheit machen können; denn bald hat er diesen gewissermaßen als Ergänzung . . das sogenannte Anomaloskop folgen lassen, . ." Diese Vermutung trifft nicht zu. Nagel hat das Anomaloskop nicht deshalb konstruiert, weil ihn seine Tafeln im Stiche ließen, sondern aus dem viel näher liegenden Grunde, weil am großen Helmholtzschen Mischapparate Untersuchungen in großem Maßstabe nicht gut möglich waren. Das Anomaloskop bildete in diesem Sinne die notwendige Voraussetzung der Tafeln, denn ohne jenes Instrument war eine direkte Erkennung der Anomalen in weiteren Kreisen unmöglich, weil ihr kardinales Kennzeichen, die abweichenden Mischungsgleichungen eben nur an einem Spektralapparate festzustellen sind. Den Tafeln fiel von vornherein bloß die Aufgabe zu, die Anomalen für die alltägliche Praxis nach gewissen sekundären Charakteren ihres Farbensinnes herauszufinden, um sie dann der Prüfung am Anomaloskope zuzuführen, an welchem einzig und allein eine definitive Diagnosenstellung möglich ist. Das verlangte Nagel von allem Anbeginne, und wenn er das Anomaloskop nicht gleichzeitig mit den Tafeln der Öffentlichkeit übergab, so lag das nur daran, daß die Konstruktion des Apparates noch nicht vollendet war. Tatsächlich waren die Untersuchungen, die seiner ersten ausführlichen Arbeit über die Anomalen, in der er auch seine neuen Tafeln zum erstenmal beschrieb, zugrunde lagen, zum großen Teile bereits an einem kleinen Spektralphotometer älterer Bauart ausgeführt. Die genannte Publikation, sowie die Ausgabe der Tafeln fallen in das Jahr 1906, und bald darauf war auch das Anomaloskop soweit vervollkommnet, daß es 1907 veröffentlicht werden konnte. Nagels Absicht war immer nur, Ordnung und Sicherheit in die Farbensinnprüfungen zu bringen, nicht neue Verwirrung zu schaffen. Daß man mit den Tafeln niemals eine spektrale Anomalie diagnostizieren könne, war ihm selbstverständlich jederzeit klar, und noch weniger konnte hier jemals von einer absoluten Sicherheit die Rede sein. Ohne Anomaloskop wären die Tafeln nur eine Halbheit gewesen — und Nagel war kein Mann der halben Arbeit —; erst jenes Instrument hat den Tafeln ihre volle Daseinsberechtigung gegeben.

Tatsächlich liegt die Sache doch so, daß die Allgemeinheit heute theoretisch und praktisch fast ausschließlich auf Nagels Schultern steht. Er war es, der uns die Arbeiten früherer Forscher vermittelte und mundgerecht machte, und den von ihm geschaffenen neuen Hilfsmitteln verdanken wir es, daß wir an den Früchten dieser Forschungen teilnehmen und sie praktisch verwerten können. Ohne sein mit eminenter Sachkenntnis gepaartes praktisches Geschick, seinen nie erlahmenden Eifer und seine absolute Ehrlichkeit in der Förderung

[1]) Erfahrungen in der amtlichen Prüfung auf Farbentüchtigkeit, Zeitschr. für Bahn- und Bahnkassenärzte, 1912, S. 31.

dieser vergessenen Fragen wäre die ganze Wissenschaft wohl noch länger in den Archiven vergraben und die Benützung der großen Farbenmischapparate das Vorrecht einiger physiologischen Laboratorien geblieben. Die meisten, welche die Farbensinnfragen seither gefördert haben, waren in engerem oder weiterem Sinne seine Schüler, und die persönliche Liebenswürdigkeit, mit der er sich, trotz der ihn ständig bedrückenden Arbeitslast, jedermann zur Verfügung stellte, der lernbegierig zu ihm pilgerte, trug wesentlich zur Propagation der neuen Lehren bei. Man kann ruhig behaupten, daß in erster Linie er es war, der uns die Anomalien des Farbensinnes überhaupt erst erschloß, denn die „anomale Trichromasie" war bis dahin auch für die Mehrzahl jener Ärzte, die amtlich Farbensinnprüfungen vorzunehmen haben, ein fremder Klang, mit dem sich kaum eine bestimmte Vorstellung verknüpfte. Heute nimmt man allerdings den von ihm gehobenen und gemehrten Wissensschatz als selbstverständlichen, längst erworbenen Besitz und möchte es ihm verdenken, daß er nicht auch gleich die Zukunft vorausgesehen. Aber dazu war der feinfühlige Mann zu bescheiden und, um sich von Ahnungen leiten zu lassen, viel zu gewissenhaft und von zu ernstem wissenschaftlichen Streben erfüllt.

Nagels Probe war die erste (und ist heute noch die einzige), die bewußt auf die Erkennung der Anomalen zugeschnitten war, die auf streng wissenschaftlichen, wohldurchdachten und methodisch durchgeführten Grundsätzen beruht, bei der man in jeder Phase derselben genau weiß, warum man so verfährt und nicht anders und bei der man auch die Diagnose folgerichtig und klarsehend ableiten kann. Auf den ersten Blick ist das Verfahren allerdings nicht einnehmend, sondern seine volle Würdigung und Ausnützung erfordert gewisse theoretische Vorkenntnisse, worin ich aber durchaus keinen Nachteil erblicken kann. Eigentlich erschließt sich einem das Verständnis der Methode erst so recht, wenn man längere Zeit mit dem Anomaloskope gearbeitet hat; erst dieses Instrument gibt einen wirklich verläßlichen Leitfaden auf einem Gebiete, in dem, wie man oft meinen möchte, nichts dauernd ist als der Wechsel. Ich sagte darüber bereits früher einmal[1]): „Das Verfahren ist in seinen theoretischen Grundlagen so unanfechtbar und in der technischen Ausführung so vollkommen, als es im Farbendrucke überhaupt hergestellt werden kann. Wenn man sich darüber voll Rechenschaft geben will, dann genügt es allerdings nicht, die Tafelprobe allein ins Auge zu fassen und sie als noch eine zu vielen schon vorhandenen abtun zu wollen, sondern man muß die ganze Lehre von den Licht- und Farbenempfindungen, wie sie in den letzten Jahrzehnten unter der wesentlichen Mitarbeit von v. Kries und

[1]) Wiener klin. Wochenschr. 1909, Nr. 24.

Nagel ausgebaut wurde, und von der die Prüfungsverfahren nur einen kleinen, aber folgerichtigen Ausschnitt bilden, mit in Betracht ziehen; nur auf diesem Wege kann man zu einem wirklich überschauenden Urteile gelangen". Wer sich das aber einmal erworben hat, der wird nicht mehr leicht von den Tafeln lassen, da es keine zweite Probe gibt, die ihr mit nur ähnlich reichem Inhalte den Rang streitig machen könnte.

Leider haben sich nicht alle Hoffnungen erfüllt, die in der ersten Freude des Hellsehens an dieses Prüfungsmittel geknüpft wurden. Anfangs neigte Nagel zur Anschauung, daß anomale Trichromasie und Farbenschwäche so gut wie immer zusammenfielen und man demgemäß schon durch die Tafelprobe auf die bestehende Anomalie hingewiesen würde; aber bereits während des Druckes der ersten Arbeit sah er einen Fall von Farbenschwäche bei unzweifelhaft normal-trichromatischem Systeme[1]). Dann stellte sich heraus, daß die Unterscheidung der einzelnen Typen in den Systemen doch nicht so einfach sei, wie es zu Beginn scheinen mochte, und auch ich konnte bereits in meiner ersten Mitteilung 1907 darauf hinweisen, daß die an den Tafeln gestellten Spezialdiagnosen mit jenen am Anomaloskope erhobenen nicht immer übereinstimmten[2]). Von der fünften Auflage seiner Tafeln ab (1908) hat dann Nagel auch die Ergänzungsfragen, sowie die Unterscheidung der Spezialformen fallen gelassen und die letzterem Zwecke dienende Tafel beseitigt.

Im Frühjahre 1909 beobachtete ich den ersten Fall, in welchem bei typischer Deuteranomalengleichung Nagel und Stilling tadellos gelesen wurden. Die Sache schien mir von so prinzipieller Bedeutung, daß ich bei Nagel, der damals schon in Rostock weilte, anfragte, ob ich ihn in einer Farbensinnfrage sprechen könnte. Er bejahte in gewohnter Hilfsbereitschaft und, als ich ihm meine Beobachtung und die sich daraus ergebenden Bedenken vorgetragen hatte, sagte er zu meiner größten Überraschung, er hätte sich gleich gedacht, was mich zu ihm führe, da er inzwischen gleiche Erfahrungen gemacht habe, und nun entwickelte er seine Anschauungen über diese neuen Beobachtungen. Als ich ihn beim Weggehen fragte, ob er es für zweckmäßig halten würde, die Sache zu publizieren, erwiderte er, ja, das wäre ihm ganz recht, da er glaube, ich würde es nicht in gehässiger Weise tun[3]); seine Meinung in der Frage werde er mir übrigens noch

[1]) Wie oben (Seite 30) erwähnt, hatte übrigens schon Donders solche Fälle beobachtet; ebenso anomale Trichromasie ohne Farbenschwäche.

[2]) Zur Farbensinnprüfung im Eisenbahn- und Marinedienste, Wien, Braumüller.

[3]) Für Fernerstehende sei bemerkt, daß die Tafeln vielfach ohne jede Sachkenntnis in der maßlosesten Weise angefeindet wurden.

kurz brieflich mitteilen. Ich hatte ihn damals noch in voller Gesundheit und Arbeitsfreudigkeit verlassen und ahnte nicht im entferntesten, daß ich ihn nicht mehr sehen sollte.

Daraufhin brachte ich meine Mitteilung vom Juni 1909[1]), in welcher ich auch Nagels Schreiben veröffentlichte. Er gab darin bekannt, daß er Anomale gesehen habe, die bei Abteilung A schnell und richtig antworteten und bei Abteilung B den gesteigerten Kontrast vermissen ließen, mit einem Worte seine Tafelprobe bestanden; er deutete die Fälle als Anomalie ohne Farbenschwäche und hielt die Betreffenden deshalb für farbentüchtig.

Diese Anschauung führte ich dann unter Benützung meiner eigenen Beobachtung in diesem Sinne weiter aus und schlug vor, für praktische Zwecke zwischen typisch Anomalen, rein (spektral) Anomalen und Farbenschwachen zu unterscheiden. Bekanntlich waren ja die Anomalen nicht so sehr wegen der abweichenden Rayleigh-Gleichung für farbenuntüchtig erklärt worden, als wegen der die spektrale Anomalie begleitenden sekundären Merkmale, und die praktische Bedeutung der anomalen Mischungsgleichung beruhte hauptsächlich darauf, daß man mit ihr zugleich die sekundäre Farbenschwäche als nachgewiesen annehmen konnte. Als nun die ersten Fälle bekannt wurden, welche trotz anomaler Rayleigh-Gleichung Zeichen von Farbenschwäche vermissen ließen (i. e. die Tafelprobe bestanden), war es nur folgerichtig, sie praktisch als farbentüchtig zu betrachten, obwohl sie nicht als physiologisch normal gelten konnten. Ebenso mußte man logischerweise exquisit Farbenschwache, welche die Tafelprobe nicht bestanden, für farbenuntüchtig erklären, auch wenn sie normale Rayleigh-Gleichung aufwiesen. Die Begriffe „normaler Farbensinn" im wissenschaftlichen, und „Farbentüchtigkeit" im praktischen Sinne deckten sich also nicht mehr ganz, und ich versuchte dort darzutun, in welcher Weise sie auseinander zu halten wären. All' diese Erwägungen zusammenfassend beantwortete ich dann die Frage nach der Verläßlichkeit von Nagels Tafeln dahin, daß ihr positives Ergebnis nach wie vor für Farbentüchtigkeit maßgebend bleibe. Ich fügte gleich hinzu: „Die neuerdings bekannt gewordenen Fälle, in denen trotzdem Farbensinnanomalien bestehen, haben zunächst nur theoretisches Interesse, da die Farbentüchtigkeit im praktischen Sinne nicht beeinträchtigt erscheint". Das „zunächst" sagt wohl deutlich genug, daß ich mit meinen damaligen Ausführungen nur den Stand der Frage zu jener Zeit kennzeichnen und darauf hinweisen wollte, daß wieder „zu-

[1]) Wiener klin. Wochenschr. 1909, Nr. 23 bis 24, Zur Frage der bahnärztlichen Farbensinnprüfung.

nächst" keine Veranlassung bestehe, wegen derartiger vereinzelten Beobachtungen (und für das mußte man sie damals halten), die Nagelschen Tafeln als minderwertig zur Beurteilung der praktischen Farbentüchtigkeit zu betrachten und die kaum geordneten Verhältnisse neuerdings zu verwirren.

Es heißt dann weiter: „Sollten neue Erfahrungen Änderungen der Tafeln notwendig oder wünschenswert erscheinen lassen, so können wir uns bei der beherrschenden Sachkenntnis und dem strengen Pflichtbewußtsein Nagels, der die ganze Farbensinnfrage theoretisch und praktisch unausgesetzt mit größter Aufmerksamkeit verfolgt und beständig fortbildend tätig ist, ruhig darauf verlassen, daß er wahrgenommene oder ihm zur Kenntnis gebrachte Mängel, soweit sie in dieser Technik überhaupt behebbar sind, sofort abstellen und sein Instrument vorgeschrittener Erkenntnis anpassen werde".

Leider wurden mit Nagel auch alle diese Hoffnungen und Pläne[1]) begraben, und wie wenig man dem Kernpunkte der Frage seither näher gerückt ist, beweist gerade die erwähnte Tafelfehde, welche eigentlich nur neues statistisches Material für bekannte Tatsachen bringt und meines Erachtens an ein längst überwundenes Stadium der Erkenntnis anknüpft.

Ich habe die Genese meiner damaligen Mitteilung auch deshalb etwas näher berührt, weil man versucht hat, mich auf Grund derselben als Hauptschuldigen in den leidigen Tafelstreit hineinzuziehen, indem meine angebliche Überschätzung von Nagels Tafeln hauptsächlich zu ihrer Bekämpfung geführt hätte. Ich möchte da in sachlicher Beziehung klare Verhältnisse schaffen.

Die Angriffe gegen Nagels Tafeln sollten auf dem von mir kundgemachten Satze beruhen, daß glattes Bestehen dieser Probe für Farbentüchtigkeit beweisend sei; das wäre aber eine grundfalsche Idee, weil es ein solches Verfahren überhaupt nicht gebe. Alle desselben Geistes hätten dann diesen Satz unbesehen hingenommen, und die naturgemäße Folge war, daß sie das Vertrauen zu der Probe verlieren mußten, als sie ihr gelegentliches Versagen erfuhren[2]).

In dem Wortlaute dieser Kritik liegt auch ihre Erklärung. Zu der Ansicht, daß ich die „absolutistische Giltigkeit" von Nagels Tafeln für alle Zeiten dekretieren wollte (was ja an sich eine sinnlose Anmaßung gewesen wäre), konnte in der Tat nur jemand gelangen, der einzig den inkriminierten Satz und diesen unbesehen hingenommen hatte. Den Kernpunkt der Sache, daß glattes Bestehen dieser Probe unter bestimmten Voraussetzungen nach wie vor für Farbentüchtigkeit maßgebend bleibe, keineswegs aber normales spektrales Verhalten beweise, hat man vollständig unbeachtet gelassen; in all diesen Arbeiten wird immer

[1]) Soviel ich entnehmen konnte, hatte er damals zunächst eine Verkleinerung des Gesichtswinkels der farbigen Punkte im Auge.

[2]) Vergleichende Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit verschiedener Farbensinn-Proben. Von Dr. Franz Vierling, Bahnaugenarzt in Mainz. Zeitschr. f. Bahn- und Bahnkassenärzte 1913, Nr. 5. Die Angelegenheit wurde unterdessen zwischen mir und Herrn Vierling in Nr. 9 der gleichen Zeitschrift geordnet.

nur hervorgehoben, daß die Tafeln spektrale Anomalien nicht verläßlich anzeigten und in diesem Sinne „versagten".

Diese Tatsache war sowohl Nagel als mir sehr genau bekannt, denn sie bildete ja die unmittelbare Veranlassung zu jener Mitteilung. Keiner von uns hat dort behauptet, daß jedermann, der die Tafelprobe bestehe, am Spektralapparate normale Rayleigh-Gleichung aufweisen müsse, sondern wir hatten ganz im Gegenteile darauf hingewiesen, daß die Tafelprobe trotz bestimmter spektraler Anomalie positiv ausfallen könne. Die praktische Beurteilung hänge dann von dem Grade der vorhandenen Farbenschwäche ab, auf deren Feststellung es in erster Linie ankomme; erweise sich dieselbe als nicht nennenswert, so sei die Farbentüchtigkeit nicht zu bezweifeln. Dieser kardinale Unterschied scheint vielfach übersehen worden zu sein, indem Farbentüchtigkeit immer für gleichbedeutend mit normaler Rayleigh-Gleichung genommen wurde, obwohl Nagel bereits 1907 ausdrücklich davor warnte und es direkt für einen Rückschritt erklärte, wenn wir voreilig Farbenschwäche und Anomalie identifizierten[1]).

Wenn also einem Kollegen, der unsere Mitteilung aufmerksam durchgesehen hatte, später ein ähnlicher Fall unterkam, in welchem sich glattes Bestehen von Nagels Tafelprobe bei ausgesprochener spektraler Anomalie herausstellte, so hätte er sich doch wohl gesagt, vielleicht ist dies ein solcher Fall von anomaler Trichromasie ohne Farbenschwäche, wie wir sie angezeigt, und er würde seine Beobachtung in diesem Sinne weiter verfolgt haben; aber er wäre wohl kaum auf den Marktplatz gegangen, um es laut zu verkünden, daß Nagels Tafeln nichts taugten und er schändlich irregeführt worden sei.

Aus diesen Feststellungen geht wohl mit nicht anzuzweifelnder Deutlichkeit hervor, daß meine damaligen, durchaus sachlichen Ausführungen ihrem ganzen Inhalte nach überhaupt nicht geeignet waren, einen Streit über den Wert von Nagels und Stillings Tafeln zu entfachen oder einem solchen Nahrung zu geben, sondern ihre Tendenz wies nach einer ganz anderen Richtung — jener der selbständigen Farbenschwäche —, auf welchem Gebiete sich beide Methoden zu ergänzen, aber nicht in Konkurrenz zu treten haben.

Eine Bestätigung der Richtigkeit meiner damaligen Ausführungen über den Wert von Nagels Tafeln darf ich wohl auch darin erblicken, daß die eingehenden Beratungen, welche im April 1913 (unter Zuziehung Köllners und eines Bahnaugenarztes jedes Direktionsbezirkes) im preußischen Eisenbahnministerium über diesen Gegenstand gepflogen worden sind[2]), soweit ich dies aus den darüber in die Öffentlichkeit gelangten Mitteilungen entnehmen kann, zu ganz ähnlichen Schlüssen geführt haben. So wird über einen Erlaß des preußischen Eisenbahnministers vom 13. Juni d. J. berichtet[3]), nach welchem es angezeigt ist, zur weiteren Förderung einer gleichartigen, vorschriftsmäßigen Anwendung des Nagelschen Prüfungsverfahrens die Bahnärzte über die Untersuchung mit Nagels Tafeln mündlich näher unterweisen zu

[1]) Zur Nomenklatur der Farbensinnstörungen, Zeitschr. f. Sinnesphysiol., Bd. 42, S. 66.

[2]) Zeitung des Vereines Deutscher Eisenbahnverwaltungen 1913, Nr. 24, S. 396, Augenärztliche Beratungen.

[3]) Ebenda, Nr. 50, S. 809, Farbensinn-Prüfungsverfahren.

lassen. Mit dieser Unterweisung sind die Bahnaugenärzte zu betrauen, und im Benehmen mit diesen soll auch entschieden werden, ob es zweckmäßig ist, dabei einige Eisenbahnbedienstete mit Nagels Tafeln zu prüfen. Daraus kann man wohl nur den einen Schluß ziehen, daß Nagels Tafelprobe auch an dieser Stelle nach wie vor für gut gehalten wird und das Bestreben nur dahin geht, ihre Verläßlichkeit durch Sicherung richtigen Gebrauches und Förderung des theoretischen Verständnisses nach Möglichkeit zu heben[1]).

Daß ich der Frage der Tafelproben vollkommen objektiv gegenüberstand und meine Anschauungen auf genaue Beobachtung, und nicht auf vorgefaßte Meinungen gründete, geht weiter aus folgender Tatsache hervor. Ich sah bald darauf mehrere (spektral) Anomale, die Nagel tadellos bestanden, aber bei Stilling versagten, was mir bis dahin entgangen war, wohl zum Teil durch meine Schuld, da ich eine Zeitlang nicht alle Fälle auch mit Stilling geprüft hatte. Nun aber mußte ich mir sagen, es gibt Anomale, die man mit Nagel übersieht, mit Stilling dagegen faßt, und ich zog daraus sofort die, wie mir schien, gebotene Konsequenz, indem ich noch im Dezember 1909 bestimmte, daß von nun ab jeder Fall von sämtlichen Bahnärzten mit Nagel und Stilling geprüft werden müsse. Ich habe also die eben aktuelle Streitfrage bereits vor $3^1/_2$ Jahren in der einfachsten Weise gelöst, indem wir eben mit Nagel und Stilling untersuchen. Ich handelte damals unter dem unmittelbaren Eindrucke der einzelnen Beobachtungen und hatte mein Material nicht speziell daraufhin durchgesehen. Die administrativen Schwierigkeiten, welche die nachträgliche Ausscheidung von erst später als farbenuntüchtig erkannten Bediensteten verursacht, sowie die materielle Schädigung derselben sind oft so bedeutend, die Vorwürfe, die dabei gegen die prüfenden Ärzte erhoben werden, so peinlich, daß mir schon die Möglichkeit, und noch mehr die Wahrscheinlichkeit größerer Sicherheit die relativ geringe Mehrleistung bei der Untersuchung des einzelnen reichlich aufzuwiegen schien. Auch wird man bei Verwendung beider Methoden unabhängiger von der Individualität einzelner Prüfer. Zunächst resultierte allerdings nur eine noch größere Verlegenheit, indem die nächste Wiederholungsprüfung, die nun mit Nagel und Stilling vorgenommen wurde, leider noch eine beträchtliche Zahl von Anomalen zutage förderte, die vorher mit Nagel übergangen worden waren.

[1]) Ein neuerlicher Erlaß (mitgeteilt ebenda, Nr. 70, S. 1118) ordnet die Fortführung der schon im Jahre 1913 gepflogenen vergleichenden Untersuchungen mit Nagel und Stilling an. Für den 1. Oktober 1914 ist die Vorlage übersichtlicher Darstellungen der Ergebnisse mit gutachtlichen Äußerungen der Bahnaugenärzte vorgesehen.

Die österreichischen Bestimmungen über die Farbensinnprüfung der Eisenbahnbediensteten sind gerade nicht sehr sachgemäß und so weit gefaßt, daß man sie recht oder schlecht anwenden kann. Sie schreiben die Benützung von zwei Methoden vor; für die eine lassen sie die Wahl zwischen Nagel, Stilling und Reuß, zur zweiten wird die Holmgrensche Wollprobe bestimmt. Durch diese obligatorische Vorschreibung der Wollprobe geht die durch Anwendung von zwei Methoden angestrebte größere Sicherheit wieder verloren, indem die Holmgrensche Probe die Anomalen erfahrungsgemäß ziemlich ungeschoren läßt, und man für diese wichtigste Gruppe doch wieder nur auf eine Probe angewiesen ist. Wählt man zu dieser etwa noch die Reußschen Wolltäfelchen, so wird die Auslese nicht weit über die Dichromaten hinausreichen.

Nun will ich die statistischen Daten über die Ergebnisse mitteilen, die ich bei spektralen Anomalien mit Nagels und Stillings Tafeln erhoben habe.

Unter **357** typisch Deuteranomalen waren Nagel und Stilling **279**mal negativ. Die weiteren **76** Fälle zeigten folgende anderweitige Kombinationen in der Lesbarkeit dieser zwei Proben.

Anzahl der Fälle	Nagel	Stilling
29	+	+
4	+	fehlt
20	+	—
23	—	+
76		

In **20** Fällen von leichter Deuteranomalie, bei denen mit Nagels oder Stillings Tafeln oder dem Gleichungsapparate überhaupt Störungen nachzuweisen waren[1]), zeigten die zwei Tafelproben folgende Ergebnisse:

Anzahl der Fälle	Nagel	Stilling
4	—	—
4	+	+
1	+	fehlt
7	—	+
4	—	fehlt
20		

Unter **40** Protanomalen waren beide Proben **38**mal negativ und nur in zwei Fällen ein anderes Verhalten zu erheben.

[1]) Es sind dies die auf S. 84 u. 85 unter *a)* angeführten 18 Fälle und jene 2 Fälle der Gruppe *b)*, bei denen der Gleichungsapparat Störungen aufdeckte.

Anzahl der Fälle	Nagel	Stilling
1	+	—
1	+	fehlt
2		

Diese Zahlen lehren immerhin mancherlei, was uns zu wissen interessiert.

Zunächst finden wir die allbekannte Tatsache bestätigt, daß gut drei Viertel der Deuteranomalen (279 von 357 = 78%) mit einer derartigen Farbenschwäche behaftet sind, daß sie beide Tafelproben nicht zu lesen vermögen. Umgekehrt können wir aus der letzteren Tatsache mit ziemlicher Sicherheit auf das Bestehen anomaler Mischungsgleichungen schließen, da ich Nichtbestehen von Nagel und Stilling bei normalem spektralen Verhalten nur 3mal gesehen habe. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle geht demnach die anomale Rayleigh-Gleichung mit ausgesprochenen sekundären Merkmalen einher, und an einer näheren ursächlichen Verknüpfung dieser zwei Symptomenreihen kann nicht der geringste Zweifel bestehen.

29 Deuteranomale erwiesen sich gegen beide Tafelproben refraktär, es wurden beide tadellos bestanden. Solche Fälle sind selbst mit beiden Methoden nicht zu eruieren und entgehen leicht der Beobachtung; man findet sie nur zufällig, oder wenn man alle Fälle am Anomaloskope untersucht. Die Farbenschwäche fehlte demnach in 8% der Fälle entweder vollständig, beziehungsweise wir hätten zu ihrem Nachweise noch feinerer Hilfsmittel bedurft. Wenn man also in solchen Fällen von einem Versagen der Tafelproben spricht, so kann sich dieser Ausdruck eigentlich nur auf die Nicht-Übereinstimmung der mit denselben gewonnenen Ergebnisse mit jenen am Spektralapparate erhobenen beziehen, denn wo überhaupt keine mit diesen Proben nachweisbare Farbenschwäche vorhanden ist, dort können sie die Tafeln auch nicht anzeigen.

In 20 Fällen von Deuteranomalie war Nagel positiv, Stilling dagegen negativ, die begleitende Farbenschwäche somit von der Art, daß sie die Lesbarkeit der Nagelschen Probe nicht beeinträchtigte, wohl aber die Entzifferung von Stillings Tafeln verhinderte. Wer also solche Fälle mit Stilling untersucht, würde nicht nur die erwähnten 78% sondern noch weitere 6% (5·6) von Anomalen ausheben, die bei Prüfung mit Nagels Tafeln verborgen bleiben.

Bei 23 Deuteranomalen war Nagel negativ und Stilling positiv, d. h. die konkomitierende Farbenschwäche so beschaffen, daß Nagels Tafeln nicht gelesen, jene Stillings aber entziffert werden konnten. Diese 6% (6·4) waren daher nur mit Nagel zu ermitteln, während sie mit Stilling der Beobachtung entgehen.

Wer also nur mit Nagel prüft, übersieht jene 6% Deuteranomaler, die nur auf Stilling reagieren; wer nur mit Stilling untersucht, wieder jene 6%, die nur mit Nagel zu erkennen sind. Benützt man beide Methoden, so werden diese 12% zu zweifelhaften Fällen, weil die Befunde am Anomaloskope und an den Tafeln widersprechend lauten.

Unter den 20 Leicht-Deuteranomalen waren beide Proben nur mehr 4mal negativ, ebenso oft fehlte jede mit den Tafeln erweisliche Farbenschwäche; wohl aber zeigten sich in den letztgenannten Fällen Störungen am Gleichungsapparate. Sonst fällt es auf, daß Nagels Tafeln die Anomalie (respektive die begleitenden sekundären Symptome) häufiger anzeigten, als jene Stillings, woraus man wohl mit Recht auf ihre größere Empfindlichkeit schließen kann. Noch größer wird die Sicherheit, wenn man die Ergebnisse an Nagels Tafeln und dem Gleichungsapparate heranzieht, denn diese Kombination zeigte die vorhandenen Störungen 18mal an[1]), Stillings Tafeln dagegen nur 4mal[2]).

Von 40 Protanomalen zeigten 38 (= 95%) typische Farbenschwäche mit Unlesbarkeit von Nagels und Stillings Tafeln. 2mal (= 5%) war Nagel positiv, und diese Fälle wären demnach bei ausschließlicher Benützung dieser Methode unentdeckt geblieben. Einer davon wurde durch Stilling angezeigt, im zweiten Falle fehlt dieser Befund. Bei dieser kleinen Zahl von Beobachtungen liegen demnach die Verhältnisse etwas anders; man könnte sich aber immerhin denken, daß bei ihrer Fortführung bis 100 die Beziehungen ähnliche würden, wie sie sich für die Deuteranomalen ergaben.

Nach dieser Statistik scheint es, daß man durch Benützung beider Methoden etwa 4 Fünftel (78%) aller Anomalen herausfinden kann; in einem Fünftel fehlen jene sekundären Symptome, die wir mit diesen Proben nachweisen, entweder vollständig, so daß beide gelesen werden (in 8% der Fälle), oder sie sind in einer Form vorhanden, daß sie nur mit einem oder dem anderen Verfahren eruiert werden können, und zwar ergibt sich für jedes derselben eine spezifische Reaktion in etwa 6% der Fälle. Wir erhalten so bei Verwendung einer einzigen Probe scheinbar eine größere Anzahl von Treffern (78 + 6 = 84%), als wenn wir beide Methoden benützen, weil wir im ersten Falle nur mit negativen (oder positiven) Ergebnissen zu rechnen haben, im letzteren aber auch mit zweifelhaften Befunden, bei welchen sich die mit den zwei Proben gewonnenen Resultate widersprechen. Daraus darf man aber nicht etwa schließen, daß die Anwendung nur eines Verfahrens

[1]) Siehe die 1. Tabelle auf S. 85.

[2]) Selbst wenn man alle 5 fehlenden Befunde für negativ nehmen wollte, so hätten Stillings Tafeln nur 9 Fälle angezeigt.

sicherer sei, denn der Zufall könnte es immerhin fügen, daß mit einer Probe gerade jene 6% durchschlüpfen, die nur mit der anderen zu ermitteln gewesen wären; benützt man dagegen beide Methoden, so kommen alle 12% als zweifelhaft zur Überprüfung und werden dann richtig erkannt[1]).

Nach diesen Zahlen müssen wir weiterhin annehmen, daß beide Verfahren, was die Anzeige spektraler Anomalien betrifft, etwa gleich häufig versagen, ein Ergebnis, das mich selbst überraschte, weil ich nach dem Eindruck von Einzelfällen, die wohl ihrer Besonderheit wegen fester in meinem Gedächtnisse hafteten, eher einen Rekord für Stilling erwartet hätte. Bei kleineren Gruppen von Fällen kann das Verhältnis naturgemäß ein ganz anderes sein, und der Eindruck, den man empfängt, wird ganz davon abhängen, wie einem der Zufall die Beobachtungen in die Hand spielt.

Ich habe mich bemüht, diese bei der Mannigfaltigkeit der Formen begreiflicherweise ziemlich komplizierten Beziehungen bildlich meinem eigenen Verständnisse etwas näher zu bringen, und ich möchte glauben, daß dies vielleicht durch eine Erwägung, wie die folgende, möglich wäre.

Denkt man sich das Geltungsgebiet beider Proben durch zwei Kreise von gleichem Durchmesser versinnlicht, so würden sich ihre Flächen decken, wenn beide Verfahren absolut gleichwertig wären. Da dies nun tatsächlich nicht zutrifft, so kann man sich beide Kreise etwa um den vierten Teil ihres Radius horizontal gegeneinander verschoben denken. Wir erhalten dann, soweit die Kreise sich decken, ein großes gemeinsames Geltungsbereich, innerhalb dessen die Ergebnisse beider Methoden übereinstimmen, und beiderseits sektorenförmige Gebiete, in denen jedes Verfahren seine spezifische Wirksamkeit, und zwar in entgegengesetztem Sinne, entfaltet. Bei größeren Zahlen würde sich für die Einzelbeobachtungen, die nicht in den gemeinsamen Geltungsbezirk fallen, eine mehr weniger gleichmäßige Verteilung auf die Eigenstrecken ergeben und die Kombinationen von + und —, wie — und + beider Methoden sich ungefähr die Wage halten. Bei kleineren Beobachtungsreihen würde das Ergebnis davon abhängen, wie sich die Einzelfälle auf die beiden Eigenstrecken verteilen. Hier kann der Zufall leicht ein Überwiegen der einen oder anderen Form ergeben, und danach würden auch die Resultate der betreffenden Zusammenstellungen verschieden ausfallen.

Ob diese Zahlen schon eine richtige Vorstellung von den tatsächlichen Verhältnissen geben und sich bei einem größeren Material nicht

[1]) Bei allen derartigen Erhebungen muß man sich nur hüten, Fälle einzubeziehen, in welchen die Anomalie erst durch Ermüdung (sei sie auch leichtester Art) in Erscheinung tritt, weil unter diesen Verhältnissen die Tafelproben in etwa 75% der Fälle gelesen werden und die Heranziehung solcher Beobachtungen ein ganz falsches Bild von der Wertigkeit der zwei Methoden geben würde.

wesentlich verschieben werden, ist vorderhand nicht zu ermessen und eine Konstanz wohl überhaupt nur in beschränktem Umfange zu erwarten. Es wäre ohne weiteres denkbar, daß die gleiche Anzahl von Fällen eines anderen Beobachters, nach denselben Gesichtspunkten geordnet, eine ganz andere Gruppierung ergibt.

Im allgemeinen halte ich Nagels Tafelprobe für die wissenschaftlichere und schon deshalb mehr zusagende, weil sie eine geistige Mitarbeit gestattet und eine bewußte, wohlbegründete Ableitung der Diagnose ermöglicht. Die Trennung des dichromatischen vom anomalen System gelingt in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle; häufig ergeben sich auch Anhaltspunkte für die Unterscheidung beider Unterformen von Dichromasie, sowie der typischen Anomalien von den extremen Formen. Wer die Sprache dieser Tafeln versteht, wird in jeder Phase der Prüfung, aus jeder einzelnen Antwort neuen Aufschluß über das Farbensehen des Untersuchten gewinnen. Wesentliche Zweifel, längeres Hinhalten kommen dabei kaum vor, und die Fragen werden in der Tat entweder beantwortet oder nicht (vorausgesetzt, daß sie überhaupt verstanden wurden), abgesehen etwa von jenen Fällen mit ganz unbestimmter, schwankender Farbenempfindung, die aber leicht festzustellen ist und an sich schon die Minderwertigkeit beweist. Man muß nur immer individuell recht genau begreiflich machen, worauf es eigentlich ankommt, und darf die erste falsche Antwort, die möglicherweise auf einer unverstandenen Frage beruht, nicht gleich als entscheidend ansehen.

So wird Nagels Tafeln häufig der Vorwurf gemacht, daß man damit zu viel Farbenuntüchtige herausfinde, indem fragliche Ergebnisse leicht für negative genommen würden. Solche Entscheidungen werden naturgemäß in gewissem Umfange immer individuell bleiben und davon abhängen, wie weit sich der Prüfer die „Anweisung" angeeignet hat, über welche theoretischen Kenntnisse er verfügt, und ob er mit Interesse bei der Sache ist.

Besonders häufig wird über die Schwierigkeit der Entscheidung geklagt, ob wirklich eine anzurechnende Unsicherheit in der Unterscheidung von Grau und Grün bestehe. Nagel selbst hat dazu die beste Anleitung gegeben. In den älteren Auflagen der den Tafeln beigegebenen Anweisung sagt er: „Es ist noch kein Beweis für Farbenuntüchtigkeit, wenn Tafeln mit Grün und Grau einen Augenblick für grün gehalten werden, falls nur der Irrtum sogleich wieder erkannt wird." Und in den letzten Ausgaben: „Sehr zögernde Beantwortung der ersten Fragen, besonders der Frage nach der Tafel mit nur grünen Punkten, erweckt schon stets Verdacht auf eine Anomalie und fordert zu sorgfältiger Prüfung auf." Bestimmter läßt sich das eben nicht in Worte fassen, wenn man nicht Bedingungen

schaffen will, die den tatsächlichen Verhältnissen Gewalt antun. Wann ein Zögern von Bedeutung, ein Verdacht gerechtfertigt ist, das kann nur durch ein sinngemäßes Eingehen auf die Vorschrift ergründet werden.

Nehmen wir an, es bezeichnet jemand die Tafeln mit Grün und Grau auf den ersten Blick als einfarbig, bei genauerem Zusehen beginnt er an der Richtigkeit dieser Angabe zu zweifeln und wenn man ihm ein Stäbchen in die Hand gibt, so zählt er zunächst einige, dann alle grünen Punkte richtig heraus. Überlegt man sich, was dabei vorgeht, die Konzentration der Aufmerksamkeit, die genauere Fixierung unter vielleicht nur leichtem Vorneigen, die längere Betrachtung usw. und denkt zugleich an die zahlreichen Kombinationen und Abstufungen der sekundären Merkmale der Anomalen, so wird man verstehen, daß darin allein schon eine ganze Stufenleiter von Unterscheidungsgraden gelegen sein kann, die je nach der angewendeten Methodik und der Sachkenntnis des Prüfers wahrgenommen werden oder nicht, sich vielleicht erst im weiteren Verlaufe der Untersuchung zu einem bestimmten Bilde verdichten oder auch ungeklärt bleiben.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der Kontraststeigerung. Man läßt z. B. die Tafeln B 2 und 4 betrachten und es werden Rot, Braun oder Gelb genannt; dann fragt man, ob nichts Grünes dabei sei; erst jetzt sucht der Geprüfte mit seiner Macula den ganzen Ring genau ab und an zwei Punkten von bestimmter Helligkeit und Sättigung bleibt sein Blick haften, die kontrasterregende Wirkung des Rot tritt ein, und nun zeigt er bestimmt Rot und Grün. Auch diese Antwort setzt sich aus mehreren einzelnen Beobachtungen und Schlüssen zusammen, und es hängt sehr wesentlich von dem Prüfenden ab, wie weit sie geführt werden. Beide Beispiele zeigen, wie man an Nagels Tafeln häufig die Bildung des Urteiles verfolgen kann und welch großer Unterschied zwischen einer schematischen Prüfung und einer solchen besteht, bei welcher der Arzt die geistige Führung innehat.

Die Zahl der zweifelhaften Fälle kann daher aus sachlichen und individuellen Gründen beträchtlich schwanken, wenn nicht Sachkenntnis und richtig angewandte Technik festere Grenzen ziehen. So hatte auch ich 142 Fälle zu überprüfen, deren Farbenunterscheidungsvermögen an Nagels Tafeln als fraglich angemeldet worden war. Ihre Zahl ist auffallend gering und wohl ein Beweis, daß die Bahnärzte an der Hand einer entsprechenden Anweisung und nach wiederholten mündlichen (mit Demonstrationen verbundenen) Informationen sehr genau und erfolgreich untersuchen. Meist lautete die Anzeige auf Unsicherheit in der Unterscheidung von Grün und Grau[1]). Am Ano-

[1]) Als Ergebnis der meist gleichzeitig vorgenommenen Prüfung mit Stillings Tafeln finde ich die ganze Stufenleiter der Unbestimmtheit notiert: langsam, zögernd,

maloskope fand ich als Abweichungen von der Norm nur zweimal Gleichungen von **61 : 16** (also ein leicht rötliches Mischlicht) und einmal **57 : 16** (eine schon etwas grüne Mischung) notiert. Leichte Kontraststeigerung, auch am Farbengleichungsapparate, ist fünfmal angegeben. Ich konnte sämtliche Fälle als farbentüchtig gelten lassen. Es scheint mir ohne Bedeutung, ob einige derartige Fälle mehr zur Überprüfung kommen oder nicht; man lernt im Gegenteil gerade bei der Untersuchung solcher scheinbar Farbenuntüchtigen so manches, das einem auch sonst sehr zu gute kommt. Etwas mehr Sorgsamkeit bei der Auswahl ist jedenfalls zweckdienlicher, als flüchtige Oberflächlichkeit; jeder Überprüfende kennt bald die Quellen, aus welchen ihm die einzelnen Kategorien von Fällen zufließen.

Häufig werden Nagels Proben auch deshalb bemängelt, weil sie eine Farbenbenennung erfordern; es ist ein alter Glaubensgrundsatz, daß dies nicht geschehen dürfe, und die Bezeichnung „Nennprobe" kommt vielfach noch einer Verurteilung gleich. Ich halte das bei unseren heutigen Kenntnissen für eine veraltete Anschauung und frage bei den Farbensinnprüfungen nach Namen, soviel ich nur will, und lasse antworten, soviel der Geprüfte nur vermag; man fährt dabei ausgezeichnet und erhält so den besten Einblick in das Farbensehen des einzelnen, sowie in die Farbensinnstörungen überhaupt. Als selbstverständliche Voraussetzung hat dabei nur zu gelten, daß man sich nicht etwa einfallen lasse, aus der bloßen Benennung einzelner Farben eine Diagnose auf Farbentüchtigkeit oder ihr Gegenteil stellen zu wollen.

Nagel sagt darüber[1]): „Einige Kollegen haben Anstoß daran genommen, daß ich bei Abteilung *B* Farbennamen nennen lasse. Das ist eine auf Mißverständnis beruhende Reminiszenz an die Zeit, wo man mit Seebeck und Holmgren Front machen mußte gegen die Farbensinnprüfung mittels Vorzeigen und Benennenlassen farbiger Papierstücke. Prüfung mit Farbenbenennung ist zulässig, wenn man Objekte von kleinem Gesichtswinkel (1° und weniger) verwendet.

Hat man solche kleine farbige Objekte in hinreichend großer Zahl und Nuancierung, so könnte man durch bloßes Vorzeigen und Benennenlassen eine einwandfreie Diagnose (ob farbentüchtig oder farbenuntüchtig) stellen. Aber das würde zeitraubend und mühsam sein. Sehr viel schneller geht es, wenn man immer mehrere Farben nebeneinander

mühsam, schwerfällig, unbeholfen, ungeschickt, unsicher, fraglich, teilweise, nur bei seitlicher Betrachtung, mit den üblichen Verwechslungen, nur durch Nachfahren usw., also auch hier lauter Urteile, mit denen man ohne weitere entscheidende Hilfsmittel ebenso wenig anfangen kann, wie mit einer allgemeinen Unbestimmtheit in der Unterscheidung von Grün und Grau bei Nagel.

[1]) Zeitschr. f. Sinnesphysiologie, Bd. 41, S. 281 bis 282.

zeigt und aus der Antwort entnimmt, ob der Untersuchte die qualitativen Unterschiede bemerkt oder nicht."

Als Beispiel dafür verweist Nagel auf seinen Farbengleichungsapparat, wo oft schon die erste Antwort die Diagnose ergebe, indem die Dichromaten (meist tun es die Protanopen) die erste Einstellung (Hellrot: Dunkelrot) als Grün: Rot bezeichnen. „Es ist eben bei diesem Verfahren auch die Farbenbenennung nur ein Zeichen dafür, ob der Untersuchte die zwei vorgelegten Farben als Gleichung oder als Ungleichung sieht."

Und darauf kommt es bei den Tafeln, der Lampe und dem Anomaloskope in erster Linie an; hier ein Benennungsverbot erlassen zu wollen, würde gegen eines der wichtigsten Prinzipien der modernen Diagnostik der Farbensinnstörungen verstoßen. Die Kontraststeigerung, welche bei Erkennung der Anomalen eine so wesentliche Rolle spielt, ist überhaupt nur durch Farbenbenennung festzustellen, da wir uns von der Wirkung der induzierenden Farbe auf keine andere Weise Kenntnis verschaffen können.

Dabei muß man immer eingedenk bleiben, daß die Farbenbezeichnungen einzelner (normalen) Individuen und ganzer Völker vielfach verschieden sein können. Die Frage, ob das menschliche Farbenunterscheidungsvermögen noch innerhalb historischer Zeiten eine tiefgreifende Entwicklung durchgemacht habe, ist heute dahin entschieden, daß unsere Vorfahren keineswegs an Farbenempfindungen, wohl aber an Farbenbezeichnungen ärmer waren [1]). So bedeutet im Sanskrit çyâra, çyâma noch dunkel, schwarz; erst viel später wurde das Blau davon losgelöst (*κύανος*) und noch später folgte die Trennung des Grün vom Blau; selbst bei den römischen Dichtern waren die Bezeichnungen für Blau noch die allerschwankendsten. In analoger Weise ist auch heute der Reichtum an Farbennamen verschieden bei Ungebildeten, Intelligenten, Malern und Farbentechnikern. Die Tiroler Landbevölkerung und ein beträchtlicher Teil der Südslawen nennen Grün nahezu konstant blau, empfinden dabei aber vollständig richtig, wie sich sofort zeigt, wenn man beide Farben nebeneinander darbietet. Wer also etwa daraus den Verdacht auf Blaugelbblindheit ableiten und daraufhin prüfen wollte, würde sich eine unnötige Mühe auferlegen.

Die Bezeichnungen Braun, ja selbst Grau sind nicht einmal allen Gebildeten geläufig, und man staunt überhaupt immer von neuem über den Tiefstand des Wissens in der Farbenlehre, mit welchem die Absolventen unsere Mittel- und Hochschulen verlassen; die wenigsten wissen, was Orange, Violett, Purpur usw. ist. Mit all diesen Erschei-

[1]) Auch darüber findet man in Königs gesammelten Abhandlungen zwei interessante Aufsätze, S. 44 und 440.

nungen muß jeder Arzt, der Farbensinnprüfungen vornimmt, rechnen und ebenso muß er über die wesentlichsten Farbenverwechslungen der Dichromaten und Anomalen unterrichtet sein. Dann kann er aber auch benennen lassen, soviel er nur mag, und er wird aus objektiv falschen Farbenbezeichnungen ebenso viel entnehmen können, als aus objektiv richtigen. Ich kann daher in der Notwendigkeit der Farbenbenennung bei Gebrauch der Nagelschen Proben keinen Nachteil erblicken und würde glauben, daß mit diesem Vorurteile in seiner alten Strenge endgiltig gebrochen werden sollte.

Wesentlich anders und einfacher liegen die gesamten Verhältnisse bei Stillings Tafeln. Hier ist dem Arzte (nach Korrektur der Refraktions- und Akkommodations Anomalien, die bei Nagels Tafeln selbstverständlich in gleicher Weise vorgenommen werden muß) rein die Rolle eines Statisten zugeteilt, der dabei zu stehen, zu warten, umzublättern und darauf zu achten hat, daß keine unerlaubten Hilfsmittel angewendet werden. Ich habe dabei immer die nicht gerade erhebende Empfindung, daß jeder halbwegs intelligente Gehilfe dies ebenso gut besorgen könnte, denn die paar Kniffe, auf deren Nichtbenützung es dabei ankommt, wären ihm leicht beizubringen.

Das Verfahren wird von seinen Anhängern zu allerhöchst gepriesen. Nach Seydel steht es dem Anomaloskope an Sicherheit wenig nach, und auch Stargardt und Oloff haben niemals eine Differenz zwischen den Ergebnissen beider Prüfungsmittel gesehen. An weiteren Vorzügen werden den Tafeln nachgerühmt, daß es dabei keine Zweifel gebe, sie würden entziffert oder nicht; die Farbendummheit komme nicht in Betracht; es gehe viel rascher und sie könnten nicht leicht falsch angewendet werden.

Wo die Tafeln flott gelesen oder gar nicht entziffert werden, da mag dies ja zutreffen, aber da kommt man mit anderen Methoden ebenso leicht und meist viel rascher zum Ziele. Wenn ich z. B. einem Dichromaten das Holmgrensche Purpurbündel in die Hand gebe, und er legt sofort einen blauen Strähn zu, oder er zeigt an Nagels Tafeln bei der Frage nach Ringen mit roten Punkten auf A 6, 11 und 12, so steht die Diagnose beim ersten Griff oder beim ersten Hinzeigen in absolut sicherer Weise fest; alles weitere ist nur Ergänzung und Bestätigung. An Stillings Tafeln kann man diesen Schluß erst dann mit annähernd gleicher Sicherheit ziehen, wenn elf Tafeln durchgenommen wurden.

Die Schwierigkeiten setzen aber sofort ein, wenn einzelne Teilfelder oder Zahlen gelesen werden und andere wieder nicht. Der Beobachter steht dann oft minutenlang vor den Tafeln, versucht es da und dort, bringt eine Ziffer heraus, die nebenstehende wieder nicht, und es dauert eine geraume Weile, bis man sich durch die ganze Reihe

durchgearbeitet hat. Und nun sagt Stilling in seiner Anweisung, wer selbst eine einzige Tafel auch nur teilweise nicht zu entziffern imstande ist, — in seiner neuesten Publikation[1]) fügt er noch hinzu „sei es auch die allerschwerste" — der muß ausgeschlossen werden. Was dabei unter „teilweise" zu verstehen ist, bleibt dem einzelnen Prüfer überlassen und kann begreiflicherweise ebensowenig in Regeln gefaßt werden, wie dies bei Nagel für die Grün-Grau-Verwechslung möglich ist. Ich gestehe, daß ich es niemals über mich gebracht habe, dieser Vorschrift in ihrer ganzen Strenge unbedingte Folge zu leisten, weil mich dieses Prüfungsverfahren von der Notwendigkeit und Begründung einer so schwerwiegenden Entscheidung nicht überzeugt. Für die Entzifferung der Zahlen können so vielerlei Momente in Betracht kommen, daß nicht immer leicht zu bestimmen ist, ob das Unvermögen bei einer oder der anderen Zahl tatsächlich auf mangelhaftem Farbenunterscheidungsvermögen beruht; wenigstens empfinde ich dabei niemals das Gefühl der Sicherheit, das andere Prüfer aus diesem Verfahren ziehen und das in solchem Falle wohl unerläßlich ist. Manchmal gelingt die Entzifferung noch durch Nachfahren, doch halte ich dieses Hilfsmittel nicht für zulässig, da es in der Regel Anomale sind, die nur auf diese Weise zum Ziele gelangen.

Und dazu die wesentliche Verschiedenheit der vielen Auflagen! Man breite einmal die 4 bis 5 letzten vor sich aus und vergleiche die korrespondierenden Tafeln; die Unterschiede in Farbe, Helligkeit und Lesbarkeit sind schon für den Normalen ganz gewaltige und sind es zum mindesten wohl ebenso für die Anomalen, die in weit höherem Maße auf Grund sekundärer Kriterien urteilen. Stargardt findet von der elften Auflage (1906) an alle ausgezeichnet. Meiner Ansicht nach ist die zwölfte (1909) die wenigst brauchbare, wie ich gleich nach ihrem Erscheinen dargetan habe[2]): man findet damit die geringste Zahl von Anomalen heraus. Ich habe sieben Deuteranomale notiert, welche diese Edition flott herunterlasen, während sie bei der elften versagten; die Fälle ließen sich nach Belieben vermehren, doch lohnt es nicht die Opfer an Zeit, da die Tatsache vollständig evident ist. Auch unter den oben erwähnten 142 Farbentüchtigen finde ich ein ähnliches Verhalten (flottes Lesen der zwölften, und Schwierigkeiten bei der elften Auflage) oftmals vorgemerkt. Etwa der gleiche Unterschied besteht zwischen der XII. und XIII. Ausgabe, welch letztere wohl wesentlich besser ist, als die XII., aber doch der XI. etwas nachsteht.

Die Tafel 10 der XIII. Auflage mit ihren verzogenen gelbroten und gelbbraunen Farbenflecken halte ich direkt mehr für eine Vexir- als

[1]) Zentralbl. f. AHK. März 1913, Einige Bemerkungen über die Farbensinnprüfung.

[2]) Wiener klin. Wochenschr. 1909, Nr. 24.

für eine Farbenunterscheidungs-Probe und möchte nicht die Verantwortung auf mich nehmen, jemand nur deshalb abzuweisen, weil er diese Tafel nicht zu entziffern vermag; in der XII. Ausgabe ist auch diese Tafel relativ leicht zu lesen. Vierling rühmt sein altes Exemplar von 1883, welche Folge für Normale und Untüchtige schon deshalb leichter zu lesen ist, als die neuesten Auflagen, weil die Flecken des Grundes in Form, Farbe und Helligkeit nur wenig differieren und in parallelen, respektive konzentrischen Reihen zu den Zügen der Figuren angeordnet sind (Stilling hebt in den Vorbemerkungen die leichtere Lesbarkeit für Normale als Verbesserung hervor); auch die XII. Auflage hat Vierling immer gute Dienste geleistet. Augstein wieder schätzt die IX. Auflage (1889) ganz besonders, weil sie die Unterscheidung der Rot- und Grünblinden gestatte. Nach meiner Erfahrung ist das Verhalten der einzelnen Anomalen gegenüber den verschiedenen Editionen ein vielfach abweichendes; die einen werden mit dieser, die anderen mit jener leichter entdeckt, und die Resultate müssen differieren, sobald man sich so wesentlich verschiedener Hilfsmittel bedient. Ich habe die XII. Auflage niemals als maßgebend benützt, sondern immer nur zu vergleichenden Untersuchungen; meine Angaben beziehen sich immer nur auf die X., XI. und XIII. Ausgabe.

Nur einen vielgepriesenen Vorzug von Stillings Tafeln muß man rückhaltslos zugeben, und das ist der, daß ihr Gebrauch keinerlei theoretische Vorkenntnisse erfordert; und gerade diesen Umstand halte ich in wissenschaftlichem Sinne für einen großen Nachteil; sie erfordern nicht nur keine Kenntnisse, sondern sie bieten überhaupt keine Möglichkeit, schon vorhandene zu verwerten. Damit hängt es wohl auch zusammen, daß sie die ganze Materie niemals irgendwie befruchtet oder zu weiteren Forschungen angeregt haben. Auch die den Tafeln vorangestellte, in ihren Anschauungen so häufig wechselnde theoretische Einleitung ist in keiner Weise geeignet, klare Vorstellungen zu erwecken, und sagt speziell kein Wort über die Anomalien des Farbensinnes, welches System Stilling bekanntlich überhaupt nicht anerkennt.

Die Tafeln lehren eben nichts weiter, als daß bei ihrem Versagen mit größter Wahrscheinlichkeit eine Farbensinnstörung vorliegt (was praktisch gewiß schon sehr viel bedeutet), aber jede genauere Orientierung über ihre Art ist ausgeschlossen. Da gibt es allerdings nichts zu fragen und nichts zu benennen, dafür weiß der Arzt aber auch kaum je, ob er einen Dichromaten oder einen Anomalen vor sich hat, und noch weniger ist es möglich, die zwei Typen der Dichromaten zu unterscheiden; alle Versuche, die Stilling in dieser Richtung unternommen hat, führten ebensowenig zu einem verläßlichen Resultate, wie die gleichgerichteten Bestrebungen Nagels.

Wenn man also aus dem Grunde, weil die Methode keinerlei Vor-

kenntnisse verlangt, und in der Absicht, durch ihren Gebrauch Bedenken zu beseitigen, die aus der Verwendung von Nagels Tafeln resultieren können, Stillings Tafeln als einzigen, ausschlaggebenden Prüfungsbehelf einführen wollte, so würde das in wissenschaftlicher Beziehung — bei voller Anerkennung und Würdigung ihrer hervorragenden praktischen Brauchbarkeit — einen bedauerlichen Rückschritt bedeuten, dem, soviel ich sehe, keinerlei gleichwertige praktische Vorteile gegenüberstünden. Es läge dann für die Allgemeinheit der Ärzte keine Veranlassung mehr vor, sich mit Farbensinnfragen überhaupt noch irgendwie theoretisch zu befassen; die ganze mühsam erworbene Differenzierung des anomalen Systems mit all dem beträchtlichen Wissen, das sich die Ärzte seit Einführung der Nagelschen Methoden auf diesem Gebiete schon angeeignet haben, würden bald wieder vergessen sein, und an die Stelle einer zielbewußten, sorgfältig gegliederten wissenschaftlichen Prüfung würde wieder die vollständig geistlose, mechanische Arbeit des Ziffernablesens auf Grund von nicht immer ganz klaren theoretischen Vorstellungen treten.

Und trotz alledem glaube ich, ist die große Beliebtheit von Stillings Tafeln hauptsächlich auf diese schematische, auch dem Unkundigsten zugängliche leichte Verwendbarkeit zurückzuführen, und sie war wohl auch mit die Veranlassung, daß die große Sympathie für dieses Verfahren neuerdings so mächtig zum Durchbruche kam, als einzelne Obergutachter Anomale fanden, die nur damit zu erkennen waren, während sie Nagels Tafeln zu lesen vermochten; denn ein vollgiltiger Beweis für die größere Verläßlichkeit der Stillingschen Tafeln ist bis heute nicht erbracht.

Wir lesen darüber schon bei Nagel[1]): „Ihr Prinzip ist fein erdacht und im höchsten Grade einleuchtend, ihre Anwendung einfach, die Aufgabe für Untersucher und Untersuchte eine leichte. Auf diesen so stark für Stillings Tafeln sprechenden Momenten mag es wohl beruhen, daß anscheinend niemand sich veranlaßt sah, die Zuverlässigkeit der Methode zu erproben ... An Kritik auf Grund einzelner untersuchter Fälle fehlt es allerdings nicht." Darüber sind wir auch heute noch nicht wesentlich hinausgekommen. Es wird viel von persönlichen Eindrücken, von der Überlegenheit der Tafeln in kleineren Beobachtungsreihen gesprochen; ja sogar die Zahl der Auflagen zum Beweise ihrer Vortrefflichkeit herangezogen (Stargardt und Oloff[2]), obwohl es doch offenkundig ist, daß wir über diese Fragen erst seit Einführung des Anomaloskopes ein sicheres Urteil haben; aber all das lehrt uns nur recht wenig über die Verläßlichkeit der Methode. Auch hier scheint die Arbeit und Erfahrung einzelner nicht auszureichen, sondern es wird

[1]) l. c. S. 267.
[2]) Diagnostik . . S. 35.

großer, nach einheitlichen Gesichtspunkten geordneter Statistiken bedürfen, bis wir einen nur einigermaßen klaren Einblick erwarten können.

Auch die Hoffnung, daß man durch ausschließliche Benützung von Stillings Tafeln die Zurückweisung Farbentüchtiger (ein Übelstand, der Nagels Tafeln häufig vorgeworfen wird) vermeiden würde, kann ich nicht gelten lassen, da ich oben bereits 20 Fälle mitgeteilt habe[1]), die bei Stilling versagten, am Anomaloskope, dem Gleichungsapparate und Nagels Tafeln aber tadellos bestanden, so daß man sie wohl bestimmt nicht zu den Farbenuntüchtigen rechnen kann. Es wäre also durch ein Stilling-Monopol auch in diesem Sinne nichts gewonnen.

Ich möchte also glauben, es sei nicht so sehr unsere Aufgabe, darüber zu streiten, welches Verfahren in einzelnen Fällen häufiger versagt oder erfolgreich ist, sondern wir sollten die ganze Anomalenfrage von den weitesten Gesichtspunkten aus anfassen, und namentlich darauf hinarbeiten, das Verhalten der spektralen Anomalien zur sekundären Farbenschwäche möglichst klarzustellen. Auch dürfen wir die Tafelproben nicht nur daraufhin betrachten, inwieweit sie spektrale Anomalien anzeigen, sondern wir müssen ihnen auch einen selbständigen Wert zur Ermittlung isolierter Farbenschwäche zuerkennen; die Frage ihrer Zuverlässigkeit nach beiden Richtungen wird uns dabei als Frucht einer zweckmäßig geführten Statistik ganz von selbst in den Schoß fallen.

Dazu brauchen wir aber unter vielem anderen auch eine stabile Prüfungsnorm, denn sobald wir die Methoden nach einigen Jahren immer wieder wechseln, werden wir statt Klarheit nur Verwirrung ernten. Auch wäre ich dafür, die Bahnärzte in Farbensinnfragen theoretisch und praktisch nach Möglichkeit zu unterrichten, ihr Interesse daran zu wecken, und die Methode der Farbensinnprüfung so einzurichten, daß sie denkend durchgeführt werden kann, denn jede schematische Behandlung ertötet das Interesse. In den Obergutachten sollten wir die einzelnen Formen möglichst genau spezialisieren und darauf sehen, daß ihr Wesen schon in der dafür gewählten Bezeichnung charakteristisch zum Ausdruck komme. Ich erblicke daher auch in der falschen Spezialdiagnose eines Bahnarztes durchaus nichts so bedenkliches (wie etwa Stargardt und Oloff diesen Umstand den Nagelschen Tafeln zum Nachteile anrechnen[2]), sondern freue mich immer, wenn die Kollegen sich überhaupt in einer genaueren Diagnose versuchen; sie werden es mit der Zeit schon besser machen, namentlich wenn sie von den Obergutachtern an der Hand einzelner Fälle über etwaige Irrtümer aufgeklärt werden. Das ist gewiß die beste Art, Interesse wach-

[1]) Siehe S. 139 und 141.

[2]) Diagnostik S. 33.

zurufen, das Verständnis zu fördern, und sich gegenseitig in die Hände zu arbeiten. Das wesentliche in der ganzen Frage wird immer eine sorgfältige primäre Auslese durch die Bahnärzte bleiben, und daß diese mit entsprechendem theoretischen Verständnis und an der Hand von Methoden, die eine geistige Mitarbeit nicht nur gestatten, sondern zur unerläßlichen Voraussetzung haben, in erfolgreicherer Weise durchzuführen ist, darüber sind wohl weiter keine Worte zu verlieren. Den gegenteiligen Standpunkt, schematische Proben zu wählen, weil ein wirkliches, tiefer reichendes Verständnis doch nicht zu erzielen sei, halte ich wohl für bequem, aber durchaus unangebracht.

Wenn ich also meine Ansicht über die Wertigkeit dieser zwei Tafelproben genauer präzisieren wollte, so würde ich etwa zu folgenden Schlüssen kommen.

Die praktische Brauchbarkeit von Nagels und Stillings Tafeln zur Erkennung von Farbensinnstörungen ist ungefähr die gleiche; sie zeigen sowohl Dichromasien und Anomalien, als auch isolierte Farbenschwäche mit nahezu derselben Verläßlichkeit an.

Nagels Probe ist die wissenschaftlichere, und, wie die Kontrolluntersuchungen am Anomaloskope ergeben haben, die empfindlichere, doch fordert ihre volle Ausnützung ein gewisses Maß von theoretischen Kenntnissen; ein nicht unterrichteter, an der Farbensinnprüfung nicht weiter interessierter Arzt wird deshalb mit Stillings Tafeln vielleicht weniger Fehler begehen.

Die Häufigkeit, mit welcher beide Methoden in der Anzeige spektraler Anomalien versagen, scheint an einem größeren Material etwa die gleiche zu sein; bei kleineren Serien erweist sich bald die eine, bald die andere überlegen.

Es scheint eine relativ kleine Zahl von Anomalien zu geben, auf welche nur eine oder die andere Probe reagiert, so daß sie nur mit der jeweilig ansprechenden eruiert werden können, während sie mit der anderen unerkannt bleiben. Die zahlenmäßige Häufigkeit dieser Fälle läßt sich noch nicht bestimmen; nach einer größeren eigenen Beobachtungsreihe scheint dies etwa für jeden 20. Anomalen zuzutreffen.

Die Vorteile beider Methoden sind mit ihrem Wesen verknüpft und demnach nicht übertragbar: will man derselben daher in ihrer Gesamtheit teilhaftig werden, so muß man beide Tafeln nebeneinander verwenden.

Eine Notwendigkeit hiezu liegt nach den derzeitigen Erfahrungen nicht vor, sondern die Benützung beider ist zunächst nur ein Akt der Vorsicht.

Für Anfänger möchte ich zum Schlusse einige Punkte, die mir bei der Prüfung mit den Tafelproben von Bedeutung scheinen oder besonders häufig zu Zweifeln Veranlassung geben, nochmals knapp zusammenfassen, obwohl sie im vorstehenden meist schon erwähnt wurden.

Ich beginne mit Nagels Tafeln. Vor allem ist auf möglichst helles Tageslicht zu achten. Bei Abnahme der Beleuchtung, z. B. an einem trüben Tage, sinkt die Unterschiedsempfindlichkeit für feinere Farbentöne auch bei Farbentüchtigen so beträchtlich, daß man leicht zur Annahme einer Farbensinnstörung verleitet werden kann, wo eine solche tatsächlich nicht besteht.

Die Tafeln müssen von tadelloser Reinheit sein, damit sich die farbigen Punkte scharf von dem weißen Grunde abheben. Sie sollen möglichst wenig berührt und nicht unnötig dem Lichte ausgesetzt werden. Ob man sie jedesmal erst ausbreitet oder irgendwie gefaßt verwendet, ist ohne wesentliche Bedeutung. Im ersten Falle soll man sie nicht mit den Fingern anfassen, sondern mit einem Stäbchen nach Wunsch ordnen; wird aus Gründen der Sauberkeit oder rascheren Arbeitens die Verwendung in irgend einer Fassung vorgezogen, dann wechsle man öfter die Lage der betreffenden Tafel oder Mappe; auf keinen Fall gebe man die Tafeln in die Hand und lasse auch nicht mit den Fingern darauf zeigen, sonst sind sie in kurzer Zeit unbrauchbar.

Der zu Prüfende muß aufrecht vor den Tafeln stehen (Refraktions- und Akkommodations-Anomalien korrigieren!); liest er bei gutem Visus nur niedergebeugt, so besteht dringender Verdacht auf Anomalie; die Fähigkeit der Farbenunterscheidung ist oft ganz auffallend von der Lesedistanz (dem Gesichtswinkel) abhängig (siehe S. 44 und 149).

Einleitend empfiehlt sich der Hinweis, daß die Tafeln Ringe enthalten, die aus farbigen Punkten bestehen; die einzelnen Fragen würden sich teils auf die Farbe der Punkte, teils auf jene der Ringe beziehen; macht man dies nicht von vornherein klar, so werden diese zwei Dinge immer wieder verwechselt. Bei der Frage nach einfarbigen Ringen betone man ausdrücklich, daß helle und dunkle Punkte gleich gezählt würden, sie müßten nur alle von der gleichen Farbe sein.

Die Dichromaten sind mit diesen Tafeln leicht herauszufinden. Die Deuteranopen erkennt man meist schon an der ersten Antwort, indem sie bei der Frage nach Ringen mit roten Punkten auf *A* 6, 11 und 12 und bei der weiteren Frage nach Ringen mit nur roten Punkten auf *A* 12 zeigen. Die Protanopen tun dies nicht so regelmäßig und sind mitunter etwas schwerer herauszufinden. Einzelne von ihnen zeigen falsch und richtig wirr durcheinander, und es heißt da vorsichtig zu Werke gehen und die einzelnen Fragen nach den Regeln der Methode

sinngemäß auf alle Tafeln ausdehnen. Der ganz rote Ring wird z. B. bei flüchtigem Hinsehen richtig als einfarbig bezeichnet; fragt man aber, ob nicht etwa graue oder grüne Punkte darunter seien, so werden bei genauer Betrachtung ohne weiteres auch solche aufgezeigt. Analoge Fragestellungen wiederholt man bei Grün und Grau oder den mehrfarbigen Ringen; die falschen Antworten häufen sich dann bald derart, daß es nicht schwer wird, sie nach den Gesetzen der Farbenverwechslung in ein System zu bringen.

Die Unterscheidung zwischen Grün und Grau ist den Dichromaten durchgehends unmöglich. Die Tafeln der Abteilung *B* werden nahezu regelmäßig einfarbig genannt; 1, 2 und 4 rot, 3 grün, nur verschieden hell; anderweitige, jedoch ebenfalls offenkundig falsche Bezeichnungen kommen nur ausnahmsweise vor. Irgendwie auffallende Kontrasterscheinungen treten an diesen Tafeln bei Dichromaten nicht zutage.

Die Anomalen beantworten die Fragen nach Ringen mit roten Punkten meist richtig; nur die Extremen sind in der Unterscheidung von Rosa und Grau nicht immer ganz sicher und nennen z. B. *A* 15 einfarbig rot oder zeigen in dem grauen Ringe einzelne rote Punkte; sie lassen aber die sonstigen typischen Fehler der Dichromaten durchaus vermissen.

Bei der Frage nach nur grünen Ringen zeigen auch so manche durchaus farbentüchtige Beobachter ohne Zögern und ganz bestimmt auf Ringe mit Grau und Grün oder den nur grauen Ring, selbst wenn man ihnen vorher genau auseinander gesetzt hat, worauf es bei der Prüfung ankomme.

Die feineren Farbenunterschiede fallen ihnen entweder aus Unachtsamkeit oder Mangel an Übung gar nicht auf oder sie beachten sie zunächst nicht genauer, weil sie ihnen unwesentlich erscheinen. Die Verhüllung des Grün mit Grau zeigt auf den gemischten Tafeln in der Tat so verschiedene Arten und Grade von täuschender Ähnlichkeit, daß das Verhältnis der bunten Komponente zur schwarz-weißen und die daraus resultierenden Farbentöne auf den ersten Blick nicht immer leicht auseinander zu halten sind [1]).

Ich gebe in solchem Falle dem Geprüften ein Stäbchen [2]) in die Hand und lasse z. B. auf *A* 4 (Grau mit Grün) die einzelnen grünen Punkte herauszählen. Bei diesem genauen Absuchen merkt ein un-

[1]) Es sei dazu auf den wundervollen Abschnitt über die Verhüllung bunter Farben in Herings Lehre vom Lichtsinn verwiesen. S. 49. Leipzig, Engelmann 1905.

[2]) Ganz vorzüglich eignen sich dazu Holzstricknadeln, da ein Ende zugespitzt ist und das zweite einen Knopf trägt; es darf damit aber nur gezeigt werden, sonst sind die Tafeln bald zerkratzt

achtsamer, aber farbentüchtiger Beobachter sofort, um was es sich handle, und macht weiter bei Grün und Grau keine Fehler mehr; er findet dann auch die grauen Punkte auf *B* 3 (welche Tafel besonders häufig als einfarbig grün bezeichnet wird), leicht heraus. Gelingt die Unterscheidung auch in der Weise nicht, sondern wird lange herumgesucht und wiederholt falsch gezeigt, dann ist die Störung offenkundig und zweifellos. Man darf sich also bei der Frage nach nur grünen Ringen nicht gleich mit der ersten falschen Antwort begnügen oder sich etwa darauf verlassen, daß der Untersuchte selbst sie richtigstellen werde, sondern man muß der Sache genau nachgehen und ein bestimmtes Urteil zu gewinnen trachten. Meine Erfahrung hat mich gelehrt, daß eine derartige Nachhilfe meist zu richtigen Ergebnissen führt, indem dieselben mit den am Spektralapparate erhobenen gut übereinstimmen.

Eine absolut giltige Regel gibt es allerdings auch hier nicht. Ich habe nicht wenige Deuteranomale mit typischen spektralen Mischungsgleichungen (ohne Ermüdungsreaktion) gesehen, die Stilling tadellos lesen, keine Kontraststeigerung aufweisen und an Nagels Tafeln nichts anderes erkennen lassen, als diese Unsicherheit in der Unterscheidung von Grün und Grau[1]). Macht man sie aber durch Auszählenlassen einmal aufmerksam, dann zeigen sie auch hier allmählich richtig, was ja bei der Wandelbarkeit der sekundären Symptome nicht gar so verwunderlich ist. Diese Tatsache allein beweist also keineswegs immer normalen Farbensinn, sondern die genauere Einsicht erschließt sich erst durch die Untersuchung mit mehreren Verfahren.

Bei der Aufnahme stelle ich solche Kandidaten als spektral anomal zurück, ältere Beamte lasse ich als (in praktischem Sinne) nicht farbenschwach im Dienste[2]). Diese Vorsicht bei der Einstellung empfiehlt sich deshalb, weil man nie wissen kann, in welcher Weise sich die sekundären Merkmale gerade in kritischen Momenten geltend machen und ob sie namentlich nicht etwa durch Ermüdung stärker hervortreten[3]). Ältere Bedienstete haben die Lehrjahre bereits hinter sich und beherrschen durch lange Übung mehr weniger die sekundären Kriterien (siehe S. 44) und sonstigen äußeren Hilfsmittel der Farbenunterscheidung; bei neu Eingestellten scheint mir gerade die Lernzeit mancherlei Gefahren zu bergen. Auch haben die Verwaltungen an Neulingen kein so großes Interesse, um durch ihre Einreihung ein besonderes Risiko auf sich zu nehmen, während ältere, schon bewährte Beamte keineswegs immer leicht zu ersetzen sind.

---

[1]) Die Fälle stehen den S. 161 erwähnten 29 Beobachtungen von Deuteranomalie mit flottem Lesen von Nagel und Stilling sehr nahe.

[2]) Siehe S. 143 u. 144.

[3]) Siehe S. 107.

Augstein schreibt zu dieser verschiedenen Beurteilung[1]): „Werden aber bei geringer Abweichung von der Normalengleichung und Ablehnung der Rot- und Grün : Gelb-Gleichungen Stillings Proben und Cohns Täfelchen erkannt, so ist Farbentüchtigkeit vorhanden und meines Erachtens nicht der geringste Grund vorhanden, eine Trennung vorzunehmen, wie Rosmanit will, nämlich schon im Dienste befindliche Personen zu belassen, aber Anwärter abzuweisen. Es ist genau dasselbe, wie für den Lokomotivdienst $S = 2/3$ auch ausreichend ist, obwohl $S = 1$ wünschenswerter ist."

Derartiges habe ich niemals vorgeschlagen, sondern ich hatte bei dieser Trennung ebenso wie Nagel[2]) immer nur spektral Anomale ohne Farbenschwäche im Auge. Zwischen geringer Abweichung von der Normalengleichung und Ablehnung der Dichromatengleichungen liegt noch eine weite Strecke mit vielen Möglichkeiten, die genau erwogen sein wollen, ehe man für Farbentüchtigkeit entscheidet. Auch den Vergleich mit der Sehschärfe möchte ich nicht für zutreffend halten, da es sich bei den Anomalien des Farbensinnes um viel kompliziertere und in der Erscheinungsform variablere Vorgänge handelt, als z. B. bei einer einfachen Achsenametropie.

Die Prüfung mit Abteilung *B* der Tafeln darf nur dann entfallen, wenn bei *A* rasch und bestimmt richtig geantwortet wird. Entsteht jedoch nur der geringste Zweifel, dann muß unbedingt auch die Abteilung *B* genauestens durchgenommen werden.

Bei *B* 1 macht man zweckmäßig neuerdings aufmerksam, daß es auf die Schattierung nicht weiter ankomme, sondern hell und dunkel als eine Farbe zählten; wird der Ring trotzdem als einfarbig bezeichnet, so ist dies ein wichtiger Fingerzeig für Anomalie.

Bei *B* 2 und 4 empfiehlt es sich, falls dies nicht spontan angegeben wird, speziell darnach zu fragen, ob nicht auch grüne Punkte vorhanden seien, weil oftmals nur der eine oder der andere in dieser Farbe erscheint und dies als scheinbar unwesentlich nicht besonders angegeben wird. Falls nur die zwei grauen Punkte auf *A* 15 als grün bezeichnet werden, so hat dies kaum etwas zu sagen (siehe S. 149).

Niemals unterlasse man, den Befund genau zu notieren; spätere Begutachtungen werden dadurch sehr wesentlich erleichtert. Auch wolle nicht vergessen werden, daß solche Anweisungen immer mehr in die Hände von Leuten kommen, für die sie nicht bestimmt sind, und daß man durch allzu starres Festlegen auf einen bestimmten Prüfungsgang leicht in eine Falle geraten kann.

Auch bei Stilling ist gute Beleuchtung sehr wesentlich; bei wechselnder Lichtstärke können die Ergebnisse recht bedeutend differieren. Die Entfernung, aus der die Tafeln betrachtet werden, ist hier weniger wichtig; Sehschärfe und Refraktion müssen selbstverständlich

[1]) Bemerkungen zur Farbensinnprüfung, Arch. f. AHK., Bd. 28, 1912, S. 354.

[2]) Wien. klin. Wochschft. 1909, Nr 24 und vorstehend S. 135 und 136.

ebenso genau berücksichtigt und Anomalien der letzteren korrigiert werden.

Verwechslungen von **3** und **8** sind — ohne sonstigen Fehler — so gut wie belanglos. Häufig genügt die Frage, ob die aus den farbigen Punkten gebildeten Linien sich tatsächlich in der Mitte der Ziffer schneiden, um weitere derartige Verwechslungen hintanzuhalten; gelingt es auf diese Weise nicht, dann lasse man bei einer oder der anderen dieser Zahlen den farbigen Punkten mit dem Stäbchen nachgehen, wobei der Unterschied in der Form meist rasch wahrgenommen wird. Einzelne zweifellos Farbentüchtige sind aber so unaufmerksam, daß sie immer wieder dieselben Fehler begehen und sich bei jeder dieser Ziffern speziell erinnern lassen. Schwerer zählen schon Verwechslungen von **5** und **6**; **0**, **6** und **9**, und es zeigen sich dann meist auch gröbere Defekte, die an dem Vorhandensein einer Farbensinnstörung kaum zweifeln lassen.

Als praktisch unwesentlich kann es gelten, wenn nur Tafel **10** der XIII. Auflage (beziehungsweise die korrespondierende Tafel der anderen Ausgaben) nicht entziffert wird. Wenngleich die Mehrzahl der Farbentüchtigen sie ohne weiteres zu lesen vermag, so gibt es darunter doch so manche, für welche die Enträtselung dieser Tafel nicht ausschließlich Sache der Farbenunterscheidung ist.

Will es bei bloßer Betrachtung der Tafeln gar nicht gehen, dann gebe man das Stäbchen in die Hand; oft bedarf es dieser Nachhilfe nur bei den ersten Ziffern, damit dann flott weiter gelesen werde. Geht es andauernd nur durch Nachfahren und langes Herumsuchen, so liegt fast immer eine Anomalie des Farbensinnes vor; auf keinen Fall darf ein Entziffern nur durch Nachfahren als vollgiltig positiv genommen werden; solche Fälle sind vielmehr stets zur Überprüfung anzumelden.

Die wirklich Farbenuntüchtigen versagen meist auf mehreren Tafeln mit einigen Ziffern, so daß über die Minderwertigkeit ihres Farbensehens nicht leicht ein Zweifel auftauchen kann. Viele Dichromaten entziffern überhaupt gar nichts, nur die Tafel **4** der XIII. Auflage (die bekannten 4 großen roten Ziffern auf grauem Grunde) wird auch von den meisten Farbenblinden ohne weiteres gelesen, selbst von den Protanopen, zu deren spezieller Erkennung sie dienen soll; ihr Wegfall würde dem Werte der Tafeln kaum Eintrag tun.

Daß gelegentlich auch bei sonst gutem Farbenunterscheidungsvermögen, wo sowohl die Apparate als die anderen Tafelproben positive Ergebnisse liefern und wir ohne Bedenken Farbentüchtigkeit in praktischem Sinne annehmen können, einzelne Tafeln nicht entziffert werden, ist oben (S. 139 und 141) bereits hervorgehoben; ein Versagen bei Stilling allein ist daher nicht immer absolut beweisend für Farbenuntüchtigkeit.

Vor kurzem ist von Stillings Tafeln die XIV. „unveränderte" Auflage erschienen. Sie enthält statt der früheren 15 ganzen Tafeln mit je 4 Farbenfeldern 30 Halbtafeln mit je 2 Farbenfeldern, die nicht mehr fortlaufend numeriert, sondern in 12 Gruppen geteilt sind Tafel 1 der XIII. Ausgabe bildet mit 2 Halbtafeln die 1. Gruppe; die in der Farbenzusammenstellung gleichen Tafeln 2 und 3 der genannten früheren Ausgabe mit 4 Halbtafeln die 2. Gruppe usw. Dabei ist die Reihenfolge der Tafeln in den einzelnen Gruppen mehrfach verschieden, so daß sich die einzelnen Exemplare nur gruppenweise gleichen; es soll dadurch dem Auswendiglernen der Tafeln vorgebeugt werden. Doch hat diese wechselseitige Anordnung den unangenehmen Nachteil, daß sich die einzelnen Tafeln nicht speziell bezeichnen lassen, weil die Numerierung eines Exemplares immer nur für ein solches der gleichen Gruppe gelten würde. Man muß sich also auf die Angabe der Gruppe beschränken oder, wenn man für seine Zwecke, beziehungsweise zur gegenseitigen Verständigung genauere Ergebnisse notieren will, die nicht gelesenen Zahlen der einzelnen Gruppen direkt anführen. Auch ist es nicht gerade vorteilhaft, daß in einzelnen Gruppen Tafeln mit denselben Ziffern unmittelbar aufeinanderfolgen.

Als Neuerung sind 4 Buchstabentafeln zur Bestimmung der Farbensehschärfe (bereits 1876 in 1. Auflage erschienen) beigegeben, welche je 3 in der Größe abgestufte Reihen grüner, blauer, roter und gelber Buchstaben auf schwarzem Grunde enthalten und auf 6 *m* zu lesen sind.

Die Prüfung soll mit Bestimmung der Farbensehschärfe beginnen Wer auch die oberste Buchstabenreihe nicht liest (also weniger als halbe normale Farbensehschärfe aufweist) scheidet sofort als farbenblind aus. Wer für eine oder gar mehrere dieser Tafeln keine volle Sehschärfe hat, während sie für die übrigen normal ist, erscheint einer Farbensinnanomalie verdächtig. Ist die Sehschärfe für alle Farben normal oder nur auf höchstens die Hälfte herabgesetzt, so folgt die Prüfung mit den Zifferntafeln.

Werden auch hier alle Zahlen gelesen, dann könne der gewissenhafte Untersucher zur Kontrolle noch Nagels und Cohns Tafelproben benützen. Dazu bedürfe es aber nicht der Originaltafeln, sondern beide Proben ließen sich mit Stillings Zahlen improvisieren. Zum Ersatze der Nagelschen Tafeln lasse man Stillings Ziffern durch einen gelochten Karton betrachten und frage nach der Farbe der Tüpfel (in früheren Auflagen war das die sogenannte Kontrollprobe, welche Farbenschwäche anzeigte); an Stelle der Cohnschen Probe bedecke man eine Tafel der Gruppe 4 mit einem Florpapier oder, wenn man die Feinheit aufs äußerste treiben will, mit zweien.

Nagels Tafeln seien allenfalls als Kontrolle für Farbenblindheit

brauchbar, „während schwacher Farbensinn damit nicht nur mit erträglicher Sicherheit zu diagnostizieren ist". Das Cohnsche Täfelchen sei nichts als eine schwer lesbare pseudoisochromatische Tafel, deren fehlerhafte Konstruktion durch Florpapier verdeckt wird.

Dies etwa die Angaben Stillings in der neuesten Ausgabe seiner Tafeln. Daß die vorgeschlagenen Ersatzproben in Prinzip und Ausführung mit den Originalen so gut wie gar nichts gemein haben, ist wohl leicht ersichtlich. Über den Wert der Farbensehschärfeprüfung habe ich kein Urteil, da mir jede Erfahrung darüber fehlt, weiß also auch nicht, ob es sich wirklich empfiehlt, jede Untersuchung mit dieser Prüfung zu beginnen. Wenn man damit bloß die Farbenblinden sofort ausscheidet und nur in diesem Falle die Prüfung mit den Zifferntafeln erspart, so dürfte diese Komplikation der Probe die aufgewendete Mühe kaum lohnen, weil man die Dichromaten mit den Zahlen allein ebenso rasch und verläßlich herausfindet.

Auf keinen Fall liegt für die Besitzer der XIII. Ausgabe eine Veranlassung vor, sich die XIV. anzuschaffen. Wenn die letztere auch als unverändert bezeichnet wird, so gleicht sie der vorhergehenden keineswegs vollständig. Die in der XIII. Auflage so ominöse Tafel **10** ist auf den **2** Halbtafeln der neuen Ausgabe weitaus leichter zu lesen, desgleichen die Tafel **11**. Die Ergebnisse der Prüfung werden also je nach der benützten Edition abermals wesentlich differieren. Davon konnte ich mich erst letzthin bei einem Falle von Farbenschwäche mit durchaus normalem spektralen Verhalten sehr deutlich überzeugen. Die Mischungsverhältnisse am Anomaloskope waren durchaus normal, kein Kontrast, keine Ermüdung; Farbengleichungsapparat tadellos. An Nagels Tafeln die Unterscheidung von Grün und Grau ganz unsicher; erst nach mehreren mißlungenen Versuchen gelang es mühsam, die grünen Punkte aus den gemischten Ringen richtig herauszuzählen. Bei Stilling XIII wurden **3** und **8**, **5** und **6** durchweg verwechselt und die Tafeln **10** und **11** konnten überhaupt nicht entziffert werden; die XIV. Ausgabe wurde glatt heruntergelesen. Somit ein Fall von isolierter Farbenschwäche, welcher durch eine Tafelreihe angezeigt wird, durch die zweite nicht; von zwei Ärzten, welche mit diesen verschiedenen Ausgaben untersuchen würden, müßte der eine auf farbenuntüchtig, der zweite auf das Gegenteil erkennen. Es ist also wieder eine Auflage von verschiedener Wertigkeit dazu gekommen, und es wird wohl kaum jemand behaupten können, daß die an und für sich ganz ausgezeichneten Tafeln durch das fortwährende Herumprobieren besser oder verläßlicher werden. Die brauchbarsten Ausgaben bleiben nach wie vor die X., XI. und XIII.

Vielfach beliebt ist auch das Cohnsche Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinns; sein wärmster Fürsprecher ist wohl Augstein.

Das Prinzip der Methode beruht auf der Tatsache, „daß die anomalen Trichromaten, bei denen der Simultankontrast im Farbenpaar Grün-Rot gegenüber der Norm gesteigert erscheint, sobald es sich um gesättigte Farben in scharf begrenzten Feldern handelt — bei der Meyerschen Florkontrastanordnung (ungesättigte Farben mit unscharfen Grenzen) schlechter als der Normale sehen". Die Probe stützt sich also nur auf eines der sekundären Merkmale, das gerade besonderen Schwankungen unterworfen ist, und ihre Benützung erscheint daher schon von vornherein nicht gerade vielversprechend. „In dem Prinzip der Farbensinnprüfung mittels des Florkontrastes liegen eben womöglich noch mehr Komplikationen als in dem der pseudoisochromatischen Tafeln von Stilling" und „bei ihrer Verwertung würde man viele Personen als farbenblind oder farbenschwach bezeichnen müssen, die tatsächlich nicht nur an großen, sondern auch an ganz kleinen farbigen Objekten sich als farbentüchtig erweisen." (Nagel)[1]). In ähnlicher Weise äußert sich Collin[2]): „Zweifellos ist richtig, daß wer die Haken glatt entziffert, sicher weder farbenblind noch farbenschwach ist, dagegen gilt nicht die Umkehrung dieses Satzes; wer die Tafel nicht liest, braucht darum noch nicht farbenuntüchtig zu sein."

Auch Köllner erwähnt die Methode in seinem Lehrbuche nicht, so daß ich glauben möchte, ihre Anführung in seiner neuesten Anleitung sei nicht ausschließlich auf seine Initiative zurückzuführen; es heißt dort auch nur: „Ein Normaler soll die Stellung der Haken deutlich und ohne Zögern erkennen." Ebensowenig kann Vierling[3]), der sich über Augsteins Anregung speziell damit befaßte, wesentliches darüber berichten. Genauere vergleichende Untersuchungen an einem größeren Materiale sind noch ausständig.

Ein wesentliches Gebrauchshindernis des Täfelchens bildet die verschiedene Dichtigkeit des Florpapieres, mit welchem die einzelnen Exemplare geliefert werden. Ich besitze ein solches aus dem Jahre 1900, durch dessen Deckpapier man einfach gar nichts sieht. Napp arbeitet mit einem Täfelchen der gleichen Ausgabe, das ihm ganz gute Dienste leistet, woraus wohl zweifellos hervorgeht, daß die Ausstattung der einzelnen Stücke sehr bedeutend abweicht. Ein unbedingtes Erfordernis wäre somit ein Deckpapier von absolut gleicher Dichtigkeit, welches schon bei der Anschaffung in größeren Quantitäten mitgeliefert werden müßte. Erhält jemand z. B. ein Exemplar mit undurchsichtigem Florpapier und glaubt, die Haken müßten gerade durch deises

[1]) Zeitschrft. f. Sinnesphys. Bd. XLI, S. 270.

[2]) Zur Kenntnis und Diagnose der angeb. Farbensinnstörungen, Hirschwald 1906, S. 33.

[3]) Vergleichende Untersuchungen... Zeitschrift für Bahnärzte, 1913, Nr. 5, J. A. Barth.

Originalpapier gelesen werden, so kann er mit dem Täfelchen gar nichts anfangen, es sei denn, er nimmt ein feineres Deckblatt. Gibt man diese Wahl aber frei, dann müssen naturgemäß auch die Resultate verschieden ausfallen, und ich möchte einer in ihren Ergebnissen derart schwankenden Methode keinen besonderen Wert beimessen. Bekanntlich hat man mit Pflügers Tafeln ähnliche Schwierigkeiten, und die praktische Brauchbarkeit der Florkontrastproben als allgemein verwendbares Prüfungsmittel wird dadurch meines Erachtens beträchtlich herabgemindert. Ich halte das Täfelchen in diesem Sinne für ganz entbehrlich; es kann uns nichts Entscheidendes lehren und ist auch als ergänzender Behelf nur von fraglichem Werte.

Dem gegenüber macht Napp[1]) neuerdings auf die vorzüglichen Leistungen dieser Methode aufmerksam und empfiehlt sie ihrer Einfachheit und Billigkeit halber besonders für Musterungszwecke. Er fand übrigens unter 14 am Anomaloskope Deuteranomalen, die Nagel und Stilling nicht zu lesen vermochten, zwei, welche das Cohnsche Täfelchen, wenn auch zögernd, entzifferten; das wäre ein Versagen der Probe in etwa 14% der Fälle, obwohl ich so kleinen Zahlen keine wesentliche Bedeutung beilegen möchte. Napp rühmt das Verfahren namentlich als Vorprobe, weil es von vornherein einen Hinweis gebe, ob man eine Farbensinnstörung zu erwarten habe; ich würde meinen, daß man mit einer zögernden Entzifferung auch nicht viel anfangen kann.

Nachtrag.

Hegners Chromotestor.

Auf der letzten Naturforscherversammlung zu Wien im September 1913 demonstrierte Herr Dr. Hegner aus Jena einen kleinen von ihm in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Löwe in der Zeissschen Werkstätte konstruierten Farbenmischapparat, der mir von solcher Bedeutung scheint, daß ich das Wesentliche darüber hier noch erwähnen möchte, ohne der ausführlichen Publikation durch den genannten Herrn Kollegen nur im entferntesten vorgreifen zu wollen.

Die Konstruktion des Apparates, der die gleichen Einstellungen ermöglicht, wie das Modell I des Anomaloskopes, ist ebenso einfach als sinnreich und zweckentsprechend. Er hat ungefähr die Gestalt eines Brewsterschen Stereoskopes, nur sind die Seitenflächen nicht trapezförmig, sondern rechteckig. Die vom Beobachter abgekehrte (distale) Öffnung der Metallkapsel ist durch eine Mattglasscheibe verschlossen, die proximale trägt das Okularrohr mit Linse und Blende. Das Kästchen ist mittels eines Zapfens auf einem Stativ derart (verschiebbar)

[1]) Vergleichende Farbensinnprüfungen . ., in der Festschrift für von Schjerning, S. 105.

befestigt, daß sich das Okularrohr leicht in Augenhöhe des sitzenden Beobachters bringen läßt. Der kleine Apparat kann vor jeder beliebigen in gleicher Höhe mit der Mattglasscheibe befindlichen Lichtquelle aufgestellt werden.

Im Innern der Kapsel ist etwa an der Grenze des distalen und mittleren Drittels eine zur Mattglasscheibe parallele Zwischenwand angebracht, welche 2 gleich große viereckige Fenster (Blenden) enthält. Die proximale Zelle ist durch eine sagittale Scheidewand in 2 seitliche Hälften geteilt. Das vom Beobachter links gelegene Fenster ist fest durch ein gelbes Farbenfilter verschlossen, durch welches Licht etwa von der Wellenlänge der Natriumlinie eintritt; vor demselben befindet sich eine mittels Hebels verstellbare Blendenvorrichtung, welche die Intensität des Gelb beliebig abzustufen gestattet. Vor der rechten Blende ist ein in vertikaler Richtung verschiebbares Farbenfilter angebracht, welches aus 2 mit scharfen Kanten aneinander stoßenden Hälften besteht; die eine läßt ein spektroskopisch genau bestimmtes Rot durch, die andere ein entsprechendes Grün. Durch Verschieben dieses Doppelfilters kann man rotes oder grünes Licht oder eine beliebige Mischung beider zur Einstellung bringen. Der Hebel für die Blendvorrichtung und die Schraubenspindel, welche das zweifarbige Filter bewegt, sind mit Skala und Zeiger versehen und leicht zu dirigieren. Die Skala für das Mischlicht zeigt das Mengenverhältnis der 2 Bestandteile gleich in Prozenten an.

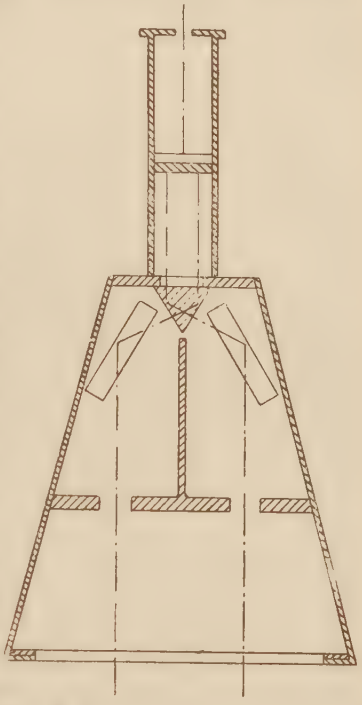


Fig. 8. Schematischer Längsschnitt durch den Chromotestor.

Das durch die 2 Fenster eintretende Licht fällt auf 2 in den proximalen Ecken der Kapsel angebrachte, schräg gestellte, versilberte Glasspiegel, die es zweien der Seitenflächen eines zwischen den Spiegeln und unmittelbar vor dem Okularrohre befindlichen Glasprisma von gleichseitig dreieckigem Querschnitte zuführen. Das je eine dieser beiden Seitenflächen treffende Licht wird immer von der anderen total reflektiert und gelangt durch die dritte frontal stehende Prismenfläche in das Okularrohr.

Die brechende Kante des Prismas liegt in der Brennebene der Okularlinse und trennt die 2 halbkreisförmigen Farbenfelder in einer scharfen senkrechten Linie. Wie sich aus der Beschreibung des Strahlen-

verlaufes ergibt, sieht der Beobachter die 2 Farbenfelder seitlich vertauscht und demnach das linke von den Mischlichtern, das rechte vom gelben Vergleichslichte erfüllt. Wenn die wagrechte Trennungslinie des zweifarbigen Filters die rechte Blende genau halbiert, dann werden gleiche Mengen roten und grünen Lichtes durchgelassen und das resultierende Mischgelb gibt mit dem nebenstehenden einfachen Gelb bei einer bestimmten Intensität desselben die Normalengleichung. Mit reinem Rot und Grün lassen sich durch Regulierung des Gelb leicht die Dichromatengleichungen einstellen; durch entsprechende Änderung des Quotienten der Mischlichter die Anomalengleichungen. Die Handhabung des Apparates ist dabei ungemein einfach, und es kann auch nicht leicht etwas daran ruiniert werden.

Ich hatte Gelegenheit, je einen Protanopen und Deuteranopen, Protanomalen nnd Deuteranomalen mit dem Chromotestor zu untersuchen, und sie stellten alle ganz charakteristische Gleichungen ein, so daß ich der Brauchbarkeit des kleinen Mischapparates die beste Prognose stellen möchte. Selbstverständlich würde dadurch das Anomaloskop in keiner Weise entbehrlich werden, weil die selbst an diesem Apparate nur relative Reinheit der spektralen Lichter durch Farbenfilter niemals erreicht werden kann; bei ihrer Verwendung werden immer mehr Lichter verschiedener Wellenlänge zur Einstellung gelangen, als dies oben für den Spektralapparat angegeben wurde. Durch möglichst zahlreiche vergleichende Untersuchungen mit dem Anomaloskope wird nun festzustellen sein, inwieweit diese größere Unreinheit der Lichter für die praktische Brauchbarkeit des Apparates in Frage kommt. Derselbe ist zurzeit noch nicht in allen Details fertiggestellt und deshalb auch noch nicht im Handel.

Sollte sich seine, wie es scheint, gute Brauchbarkeit, die auf Grund von vergleichenden Untersuchungen mit dem Spektralfarbenmischapparate auch von Herrn Dr. Hegner bereits hervorgehoben wurde, an großem Material bewähren, so wäre damit ein weiterer Schritt vorwärts getan. Man könnte den einfachen und relativ billigen Apparat auch einem Teil der Bahnärzte in die Hand geben, und es würde dadurch nicht nur die primäre Auslese eine wesentlich verläßlichere werden, sondern wir würden auch bald eine größere Statistik darüber erhalten, wie sich die abweichenden Mischungsgleichungen der Anomalen zu den Ergebnissen der einfacheren Methoden, speziell der Tafelproben, verhalten oder mit anderen Worten, wie häufig anomale Rayleigh-Gleichung (man dürfte diese Bezeichnung wohl auch für den Chromotestor anwenden) und Farbenschwäche koordiniert oder jedes Symptom für sich vorkommen, eine Frage, die mir zurzeit von der größten Bedeutung erscheint.

Sachverzeichnis.

Abhängigkeit, größere, der Anomalen
— von der Beobachtungszeit 44, 99.
— „ Helligkeitsdifferenzen 43, 98.
— „ der Intensität der Reizlichter 43, 98.
— „ „ Winkelgröße des Objektes 44, 99.
Absolute Gleichungen 88, 103, 120.
Absorption durch das Makulapigment 16. 25 (Sachs).
Ähnlichkeit des Farbensehens der Dichromaten auf großen Feldern mit jenem der Anomalen 48.
Aichlichter bei Deuteranopie und Protanopie 8, 9.
— bei Tritanopie 21.
Aichung eines Spektrums 8.
— des deuteranomalen Systems (König) 31, 32, 41.
— des dichromatischen Systems 9.
— „ protanomalen Systems (Levy) 33.
— der erworbenen Rotgrünblindheit 26.
— „ angebornen totalen Farbenblindheit 27.
— der erworbenen totalen Farbenblindheit 28.
— des trichromatischen Systems (König) 22.
Aichwerte der Dichromaten 8.
— zahlenmäßige Zusammenstellung derselben 20.
Aichwertkurven 9, Tafeln I—IV.
— der Deuteranomalen 31, 41; Fig. 3, S. 42.
— „ Dichromaten 10, 11.
— „ Normalen 22, 26.
— „ Protanomalen 33 (Peripheriewerte), 34.
— der total Farbenblinden 27, 28.
— „ Tritanopen 21.
Allgemeine Regeln für die Farbensinnprüfung 112.
— für den Gebrauch des Anomaloskopes 63, 64, 66.
Alterationsformen des normalen trichromatischen Farbensystems 51.
Anerkennung der Normalengleichung (vereinzelte).
Anerkennung der Normalengleichung durch Deuteranomale 83.
— „ Leicht-Anomale 84, 86.
— „ Protanomale 92.
— sämtlicher Normalengleichungen durch alle Dichromaten 24, 74.
Angeborene Farbensinnstörungen, ihre Arten 67.
Anomale Rayleigh-Gleichung 29—34, 38—43, 69, 74, 75, 79, 93, 133, 134. Siehe auch „Rayleigh-Gleichung".
Anomales trichromatisches System 29—34.
— Aichung desselben 31, 32, 33, 34.
— Aichwertkurven 41, Tafeln III und IV.
— — der Deuteranomalen 32, 41; Fig. 3, S. 42.
— — der Protanomalen 33, 34.
— als Alterationsform des normalen trichromatischen Systems 51.
— seine Entstehung nach König 32, 34.
— Etymologie des Wortes „anomal" 35.
— seine Feststellung 133.
— „ Nomenklatur 31, 34.
— „ Unterformen 29, 32, 67.
— „ Untersuchung durch Donders 30, Guttmann 40, König 30, v. Kries 32, Nagel 38, Rayleigh 29.
Anomale Trichromaten 29—34, 67.
— ihre größere Abhängigkeit von der Beobachtungszeit 44, 99.
— — vom Farbenkontraste 45, 100.
— — von der Intensität der Reizlichter 43, 98.
— — von Helligkeitsdifferenzen 43, 98.
— — „ der Winkelgröße des Objektes 44, 99.
— Beeinträchtigung der Grünempfindung bei denselben 40, 49.
— Deuteranomale 29—32, 38—43, 79—83, 93.
— Einteilung für praktische Zwecke 111, 112 (Köllner).
— Erkennung am Anomaloskope 74.
— „ mit Nagel und Stilling 148, 161—163, 174.
— Ermüdbarkeit, stärkere 46, 101.

Anomale Trichromaten
Extrem-Deuteranomale 38, 81, 121.
„ -Protanomale 39, 90, 121.
— Farbensehen derselben 33, 36.
— Lage des reinen Gelb in ihrem Spektrum 37, 38.
— Leicht-Deuteranomale 83—88.
— Protanomale 32—34, 89—92, 93,
— Typen (Unterformen) 29, 32, 67.
— Unterschiedsempfindlichkeit, herabgesetzte für Farbentöne 43, 97.
Anomalien des Farbensinnes 29.
— ihre Beziehungen zu den sekundären Merkmalen 107.
— ihre Charakterisierung durch die abweichende Rayleigh-Gleichung 75.
— Lichtabsorption ist nicht ihre Ursache 35.
— ihr Manifestwerden durch Ermüdung 103, 104, 107, 163 (Fußnote).
— rein spektrale Formen (ohne Farbenschwäche) 111, 112, 132—134, 144, 156.
— ihre Zusammenfassung 42.
Anomaloskop nach Nagel 52.
— Anweisung zum Gebrauche 67.
— Aufbewahrung, Instandhaltung, Benützung 63, 64, 66.
— seine Beschreibung 52.
— „ Blendöffnungen, deren Durchmesser 59.
— Einfluß der Stromspannung und Brenndauer auf die Lichtqualität 65.
— Einstellungsmöglichkeiten an Modell I 60, 68.
— — an Modell II 61, 62; Fig. 3, Tafel V.
— elektrische Glühlampen 64.
— farbige Begrenzung der oberen Gesichtsfeldhälfte 60, Fig. 7.
— Gasglühlicht 65.
— Gewindsteigerung der Spaltmeßschrauben 55.
— Intervalle der Ablesetrommeln 55.
— Kontrolle der Nullpunkte an den Trommeln 63.
— Modell I 58, Modell II 59.
— nutzbare Trommelintervalle 57.
— Okularloch 58, Okularspalt 59.
— Prismenkombination 54.
— Reparatur der Instrumente 66.
— Spaltvorrichtung 54; Fig. 6, S. 55.
— Spaltweiten 58.
— Spaltkoppel, ihre Verschiebung 62.
— Spiritusglühlicht 65.
— Strahlengang 56.
— Temperatureinflüsse 63.
— Wellenlängen der zur Einstellung gelangenden Lichter 57, 98.
— Zwillingsprisma 56.
Anzeige spektraler Anomalien durch Nagels und Stillings Tafeln 162, 163.
Aufhellung des Mischlichtes in der Rayleigh-Gleichung 98.
Beeinträchtigung der Grünempfindung bei Anomalen 40, 49.
Begutachtung der Farbensinnstörungen im allgemeinen 144.
Bemerkungen zum Gebrauche von Nagels Tafeln 174.
— von Stillings Tafeln 177.
Benennung der Pigmentfarben durch Dichromaten 19.
— der Spektralfarben 73.
Berechnung des Rot- und Grünanteiles in der Rayleigh-Gleichung 58.
Bestimmung eines Farbensystems 7.
Bestimmungen über die Farbentüchtigkeit bei den österr. Eisenbahnen 160.
Beurteilung, praktische, der rein spektralen Anomalien (ohne Farbenschwäche) 135, 176.
— der größeren Ermüdbarkeit des Farbensinnes bei Anomalen 104, 107, 120, 136, 138, 163 (Fußnote).
— der Farbenschwäche bei normalen Mischungsverhältnissen 142.
— der Leicht-Deuteranomalen 86.
Beziehung des dichromatischen zum normalen trichromatischen Farbensystem 23.
Beziehungen zwischen normaler Rayleigh-Gleichung und den sekundären Merkmalen 107.
Blaugelbblindheit, angeborne 21, erworbene 5, 27, 28.
Charakterisierung der Anomalen- und Dichromaten-Gleichungen 75.
— der Ermüdungsgleichungen 103, 138.
Chromotestor nach Hegner 182.
Cohns Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinnes 180.
Deuteranomale 29—32, 38—43, 79—83, 93.
— ihre Benennung der Farben in den einzelnen Rayleigh-Gleichungen 78, 83.
— Charakterisierung ihrer Gleichungen 75.
— ihre Erkennung mit dem Anomaloskope 79, 117.
— extreme Formen 38, 81, 121.
— Leicht-Deuteranomale 83, 118, 122, 162.
— die Nagel und Stilling bestehen 161, 176.
— die Nagel lesen und bei Stilling versagen 161.
— die bei Nagel versagen, aber Stilling lesen 161.
— Reizwert des grünen Lichtes für dieselben 30, 31, 32, 79.
— Relative Intensitäten von Tl : Li 37.
— eigene Statistik 80, 84, 85, 160.
— ihr Verhalten an Nagels und Stillings Tafeln 148 und ff.
Deuteranomale Frauen 83, 85, 142.
Deuteranomalen-Kurven 41; Fig. 3, S. 42, Tafeln III und IV.
Deuteranopen 8, 12, 13, 14, 19, 23, 24, 47.
— ihre Erkennung 71, 72, 73, 74, 93, 123, 124.

Deuteranopen, die größere Erregbarkeit ihres Sehorgans durch langwelliges Licht 13, 20, 21.
— Reizwert des roten und grünen Lichtes für dieselben 12, 13, 71.
— Relative Intensitäten von Li, Na und Tl 13.
— spezifische Rotempfindung beim Sehen auf großen Flächen 47, 49.
— ihre Warmwertkurve 12. Tafeln I und II.
Dichromaten 8, 10, 67.
— ihre Anerkennung der Normalengleichungen 24, 74.
— ihre Benennung der Pigment- und Spektralfarben 19, 73.
— ihr gelegentliches Bestehen der Wollprobe 49.
— ihre Erkennung 69, 93, 147, 148, 174, 178.
— ihr Farbensehen auf großen Flächen, spezifische Rotempfindung dabei 47, 48, 49.
— — dessen Ähnlichkeit mit jenem der Anomalen 48.
— — foveales 11, 18. 19, 49.
— ihre Farbenverwechslungen 18, 19.
— „ Farbenuntüchtigkeit 132.
— „ Grünempfindung 48.
— Intensitätsverhältnis von Li, Na und Tl bei Deuteranopen und Protanopen 13.
— die angeblich Nagels Tafelprobe bestehen 106.
— Reizwert des roten und grünen Lichtes f. Deuteranopen u Protanopen 13, 14, 70, 71.
— welche die Rot: Gelb-Gleichung beider Typen annehmen 123
— Rotgrünverwechsler 18.
Dichromaten-Gleichungen 69—74, 75, 93.
— ihre Charakterisierung 75.
— Helligkeit des Gelb in denselben 13, 14, 70, 71, 72.
— ihre Unterscheidung von Ermüdungsgleichungen 120.
Dichromaten-Kurven 9, 10, 11, 21, Tafeln I und II.
— ihre Deutung 12.
— ihr Vergleich mit dem Bande des Spektrums 16.
Dichromatisches Spektrum 8, 14; Fig. 1. S. 15.
— seine Endstrecken 16. 21.
— kalte Hälfte desselben 14, 17.
— Kaltwerte (K) 9
— Mittelstrecke desselben 17.
— neutrale Strecke 14, 16, 21.
— seine Verkürzung 16, 21.
— Verteilung der Blauwerte 21.
— warme Hälfte desselben 14, 17.
— Warmwerte (W) 9.
Dichromatisches System 8.
— seine Aichlichter 8, 9.
— „ Aichung 9.
— „ Aichwerte 8, zahlenmäßige 20.
— „ Beziehungen zum normalen trichromatischen System 23.
Dichromatisches System, eine Reduktionsform des normalen trichromatischen Systems 51.
— seine Unterformen 10, 21, 67.
Donders, seine Untersuchungen an Anomalen 30.
Durchschnittsgleichungen 114, 115.
— ihre Beurteilung 125, 128.
— „ Zahlenwerte bei den einzelnen Systemen 92, tabellarisch zusammengestellt auf Tafel VI.
Einstellung der Gleichungen durch den Prüfenden oder den Beobachter 116.
Einstellungsbreite bei Anomalengleichungen 119.
Einstellungsmöglichkeiten an Modell I des Anomaloskopes 60, 68.
— an Modell II 61, 62; Fig. 3, Taf. V.
Einteilung der Anomalien des Farbensinnes für praktische Zwecke 111, 112 (Köllner).
Elektrische Glühlampen 64.
Endstrecken der Dichromaten 16, 20; Fig 1, S. 15.
— der Normalen 14, 22; Fig. 2, S. 15.
Engelmanns Tafeln zur Darstellung der Ergebnisse spektro-photometrischer Beobachtungen 11.
Entstehung des deuteranomalen Systems nach König 32.
— des dichromatischen 18.
Erhöhung der Zeitschwelle bei Anomalen 44, 99, 133.
Erkennung der Anomalen mit dem Anomaloskope 74.
— der Deuteranomalen 79, 117.
— der Extrem-Deuteranomalen 121.
— „ Leicht- „ 83, 118, 122. 162.
— der Protanomalen 89, 121.
— mit den Tafelproben 148, 161 und ff, 174 und ff.
— mit Nagel und Stilling, mit jeder Probe allein 162, 163.
Erkennung der Deuteranopen am Anomaloskope 71, 72, 73, 93, 123, 124.
— mit den Tafelproben 148, 149, 174, 178.
Erkennung der Normalen 76, 122, 138
Erkennung der Protanopen am Spektralapparate 70, 71, 73, 74, 122, 124.
— mit den Tafelproben von Nagel und Stilling 147, 174, 178.
Erkennungszeit, verlängerte, für Farben bei Anomalen 44.
Ermüdbarkeit, größere, des Farbensinnes bei Anomalen 4, 46, 101—107, 133, 148, 163.
— ihre Beurteilung 104, 107, 120, 136, 138.
— bei Deuteranomalen 81—84
— Einfluß körperlicher Ermüdung 107.
— Ergebnisse der Tafelproben bei spektralen Ermüdungserscheinungen 137.

Ermüdbarkeit, größere, ihre Grenzen 105.
— ihre Häufigkeit 104.
— Köllners Untersuchungen darüber 102.
— bei Protanomalen 90.
— Prüfung der Ermüdungsreaktion 119.
— Statistische Daten 105.
Ermüdungs-Gleichungen 39 (Nagel), 82, 105, 106, 120.
— ihre Charakterisierung 103, 138.
— „ Unterscheidung von wahren Dichromatengleichungen 120.
Erworbene Farbensinnstörungen 5, 26, 28.
Extrem-Deuteranomale 38, 81, 121.
„ -Protanomale 39, 90, 121.
Farbenbenennung, ihre Zulässigkeit 166.
Farbenbezeichnungen der Deuteranomalen und Protanomalen für die einzelnen Rayleigh-Gleichungen 78, 83, 90.
— der Dichromaten 19, 73.
— einzelner Völker, unserer Vorfahren 167.
Farbenblindheit als Ausfallserscheinung 23.
— partielle 2, 8, totale 27, 28.
Farbendummheit 140 (Fußnote).
Farbengleichungsapparat nach Nagel 6.
— seine diagnostische Bedeutung 123, 129, 143.
— Verhalten der Extrem-Deuteranomalen 82.
— Kontraststeigerung an demselben 100.
— Verhalten der Protanomalen 91.
— „ „ Protanopen 167.
— Stargardt und Oloffs Kritik desselben 129, 130.
Farbengleichungslampe nach Köllner 6, 129, 130, 131, 143.
Farbenkontrast, seine Steigerung bei Anomalen 45, 100.
— an Nagels Tafeln 149. Siehe auch „Kontraststeigerung".
Farbenmischapparat nach Helmholtz 9.
Farbenschwäche 107, 112, 132—138.
— ihre praktische Beurteilung 135, 138, 140, 142—144 (Köllner), 156, 161, 162.
— ihre besondere Einschätzung neben dem spektralen Verhalten 108, 134, 156.
— bei gesteigerter spektraler Ermüdbarkeit 137.
— Definition 110.
— bei Deuteranomalen 161.
— nach Donders, v. Kries, Lotze, Levy, Nagel, Rayleigh 108.
— nach Guttmann 109.
— „ Köllner 111.
— bei Leicht-Deuteranomalen 86, 87, 160.
— „ Protanomalen 33, 162.
Farbenschwäche bei normaler Trichromasie 110, 112, 139, 140, 141, 142—143, 144, 155.
Farbenschwellen der Anomalen 46, 47.
Farbensehen der Deuteranomalen 81, 86, 93, 117.
— der Deuteranopen 73, 74, 123, 148.
— „ Dichromaten auf großem Felde 47.
— — foveales 11, 18, 19, 49, 122.
— der Protanomalen 33, 91, 121.
— „ Protanopen 74, 122, 124, 147.
— „ anomalen Trichromaten 36.
Farbensinn, herabgesetzter 108.
— normaler 21, 22, 26.
— — Begriff 143, 156.
— — Feststellung 76, 122, 138.
— — sein Verhalten zur Farbentüchtigkeit 113, 144, 156.
— schwacher, unvollständiger 108.
Farbensinnprüfung.
— mit dem Anomaloskope 67.
— „ einem Auge oder beiden 129.
— „ Cohns Täfelchen 180.
— „ Hegners Chromotestor 182.
— „ Köllners Anleitung dazu 124—128.
— ihre spezielle Methodik 114.
— Nagels Prüfungsmethode 124.
— mit Nagels und Stillings Tafeln 147.
— Notwendigkeit einer stabilen Norm 172.
— mit Pflügers Tafeln 182.
— allgemeine Regeln dafür 112.
— Spezialdiagnosen 129.
— zweifelhafte Ergebnisse 165.
Farbensinnstörungen 1.
— angeborene, ihre Arten 67.
— ihre Begutachtung im allgemeinen 144.
— „ praktische Beurteilung 132.
— „ „ Diagnostik 67.
— erworbene 5, 26, 28.
— Nagels Einführung in ihre Kenntnis 19.
— Statistik, eigene 1, siehe auch diese.
Farbensysteme, Begriff, Bestimmung 7.
— anomales System 29—34.
— dichromatisches 8.
— normales 21, 122.
— Reduktionsformen eines solchen 23.
— Schlußbetrachtung über Farbensysteme 50.
Farbenton 7.
— der warmen und kalten Spektralhälfte 17.
Farbentüchtigkeit und normaler Farbensinn 143, 144, 156.
Farbenuntüchtigkeit bei Anomalen 132—138.
— bei Dichromaten 132.
Farbenverwechslungen der Dichromaten 18, 19.
Farbige Begrenzung der oberen Gesichtsfeldhälfte im Anomaloskope 60, Fig. 7.
Florkontrast 45, 181, 182.

Formulare für die Eintragung der Untersuchungsbefunde 93, 94—95, Beispiele 96.
Frauen, deuteranomale 83, 85, 142.
Gasglühlicht 65.
Gebrauch des Anomaloskopes 63, 66.
Gelbintensitäten für die Rayleigh-Gleichung der Anomalen und Normalen 78, 79.
Gelbspalt, Wellenlängen der durchgehenden Lichter 98.
Gekoppelte Spalten, Wellenlängendifferenzen der sie passierenden Lichter 98.
Gipfel der Helligkeitskurve bei angeborener totaler Farbenblindheit 27, 28, Tafeln III. IV.
— bei erworbener 28.
Gipfel der langwelligen Aichwertkurve bei erworbener Rotgrünblindheit 26.
Gipfel der Warmwertkurve bei Deuteranopen und Protanopen 12, Tafeln I und II
Gleichungen, optische 6.
— absolute 88, 103, 120.
— der Anomalen 69, 75, 79—92, 93.
— „ Dichromaten 69—74, 75, 93.
— Durchschnittsgleichungen 114, siehe diese.
— ihre Einstellung durch den Prüfenden, durch den Beobachter 116.
— Ermüdungsgleichungen 82, 103, 105, 106, siehe diese.
— der Normalen 68, 76, 92, siehe auch „Normalengleichung".
Gliederung des normalen Systems 26.
Glühlicht, elektrisches 64, Gas- und Spiritus- 65.
Grenzgebiet zwischen normalem und anomalem Farbensinn nach Köllner 102.
Größere Abhängigkeit der Anomalen von der Intensität der Reizlichter und Helligkeitsdifferenzen 43.
— ihre Feststellung mit dem Anomaloskope 98.
— mit Nagels und Stillings Tafeln 149.
Größere Abhängigkeit der Anomalen von der Winkelgröße des Objektes 44.
— ihr Nachweis mit dem Spektralapparate 99.
— mit Nagel und Stilling 149.
Größere Ermüdbarkeit des Farbensinnes bei Anomalen 46.
— ihre Feststellung am Anomaloskope 101.
— mit Nagel und Stilling 149.
Grünanteil der Deuteranomalen in der Rayleigh-Gleichung 79, nach Donders 30, nach König 31, nach v. Kries 32.
Grünempfindung bei den einzelnen Formen von Farbensinnstörung 40, 48, 49.
Grünempfindung der Anomalen 40, 49.
— der Deuteranopen 48.
Grün : Gelb-Gleichung der Deuteranopen und Protanopen 71, 72.
Grünkurve der Deuteranomalen nach König 32, 41; Fig. 3, S. 42.
Grün- und Rotanteil im Mischlichte der Rayleigh-Gleichung 58.
Guttmanns Untersuchungen über Farbenschwäche 40.
Instandhaltung des Anomaloskopes 63, 64, 66.
Intelligenzprüfung 142.
Intensität des Gelb in der Anomalengleichung 78, 79.
Intensitäts- und Helligkeitsänderungen bei Einstellung der Rayleigh-Gleichung 98.
Intensität der Lichter 7.
Intensitätsverhältnis von Li, Na und Tl bei Normalen, Deuteranopen und Protanopen 13.
— von Tl : Li bei Deuteranomalen (Donders) 37.
Häufigkeit, mit der die Tafelproben von Nagel und Stilling spektrale Anomalien anzeigen 162, 163.
Hegners Chromotestor 182.
Helligkeit des Gelb.
— in den Dichromaten-Gleichungen 13, 14, 70, 71, 72.
— in der Grün : Gelb-Gleichung der Deuteranopen und Protanopen 13, 14, 71, 72.
— in der Rot : Gelb-Gleichung der Deuteranopen und Protanopen 13, 14, 70, 71.
— in der Rayleigh-Gleichung der Normalen 76 und Anomalen 77—79.
Helligkeitsänderungen bei Einstellung der Rayleigh-Gleichung 98.
Helligkeitsverteilung im Spektrum 37.
— ihre annähernde Übereinstimmung mit den für die Rotkomponente berechneten Werten 38.
— im Spektrum des total Farbenblinden 12, Tafeln III, IV.
Herabgesetzter Farbensinn 108.
Herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne bei Anomalen 43, 97.
Kalte Hälfte des Spektrums 14, 17.
Kaltwerte (K) im Spektrum 9.
Köllners Anleitung zur Farbensinnprüfung 124—128.
— Farbengleichungslampe, siehe diese.
Kombination der sekundären Merkmale bei Anomalen 47.
Komponentengliederung des Sehorgans 50.
Königs Untersuchungen an Anomalen 30.
Kontraststeigerung bei Anomalen 45, 49, 100, 110, 133, 136, 165, 167.

Kontraststeigerung, bei Deuteranomalen 83, 85, 110, 111, 117, 118.
— bei Dichromaten auf großen Flächen 48.
— am Farbengleichungsapparate 100.
— ihr Fehlen bei Anomalen 83, 100.
— an Nagels Tafeln 149, 165.
— bei Protanomalen 78, 90, 92.
— an Stillings Tafeln 150, 151.
— ihr Vorhandensein am Anomaloskope ein nahezu bestimmter Hinweis auf eine Anomalie des Farbensinnes 101.
Kontrolle der Nullpunkte an den Trommeln des Anomaloskopes 63.
v. Kriessche Beobachtungen an Deuteranomalen 32.
Kurve der Peripheriewerte bei Protanomalen 33.
Kurventypen bei Aichung der dichromatischen Farbensysteme 8, 9, 12, Tafeln I, II, siehe außerdem „Aichwertkurven".

Lage des reinen Gelb im Spektrum der Anomalen 37, 38, der Normalen 36.
Leicht-Deuteranomale 83, 118, 122.
— mit deutlicher Farbenschwäche 84.
— mit leichter Farbenschwäche 85.
ohne Farbenschwäche 85.
— welche die Normalengleichung anerkennen 86.
— ihr Verhalten gegen Nagels und Stillings Tafeln 162.
Leichtest-Anomale 138.
Lichtabsorption in den Augenmedien 17, 25.
— nicht Ursache der Anomalien 35.

Mengenverhältnis der Mischlichter bei Einstellung der Rayleigh-Gleichung am Anomaloskope 58.
Methodik der Farbensinnprüfung 114.
Mischung von Lichtern 7, 21, 52.
Mittelwerte für die Gelbintensitäten in den Dichromaten-Gleichungen 70 bis 73.
— in der Rayleigh-Gleichung der Deuteranomalen 81.
— der Normalen 76.
— der Protanomalen 90.
Mischungsgleichungen der Anomalen 74, 75, 77, 79—93, 133.
— der Deuteranomalen 30 (Donders), 31 (König), 32 (v. Kries), 38 (Nagel), 29 (Rayleigh), 79—88, 93.
— der Protanomalen 33, 34 (Levy), 29 (Rayleigh), 39, 89—92.
Mittelstrecke des dichromatischen Spektrums 17.
— des normalen trichromatischen (nach König) 23.
Modell I des Anomaloskopes 58.
— Modell II 59.
— Einstellungen an denselben 60, 61; Fig. 3, Tafel V.

Nagels Einführung in die Kenntnis der Farbensinnstörungen 19.
— Dreilichterapparat 136, 142.
— Farbengleichungsapparat, siehe diesen.
— Prüfungsmethodik 124.
Nagels Tafeln. 147—150, 152—159.
— Bemerkungen zu ihrem Gebrauche 174.
— ihr Bestehen durch Deuteranomale 155, 161, 176.
— vergleichende Beurteilung mit Stillings Tafeln 162, 173.
— Erkennung der Anomalen 148.
— — der Dichromaten 147.
— Verhalten der Extrem-Deuteranomalen an denselben 82.
— Kontraststeigerung 100, 149, 165.
— angebliches Lesen durch Dichromaten 106.
— Prüfung mit Abteilung *B* 177.
— Seydels Kritik der Tafeln 153.
— Statistische Daten über die Prüfungsergebnisse bei Anomalen 160, 161.
— Stellung von Spezialdiagnosen damit 155.
— ihre Verläßlichkeit 156, 163.
— Unterscheidung von Grün und Grau 164, 175.
— ihre Wertigkeit für die Anzeige spektraler Anomalien 152.
— ihre Wertigkeit in Prozenten berechnet 162.
— ihr wissenschaftlicher Wert 164.
Nagels Untersuchungen an Anomalen 38.
Neutrale Strecke im Spektrum der Deuteranopen und Protanopen 14, 16, 73.
— der Tritanopen 21.
Nichtbestehen von Nagel und Stilling bei normalem spektralen Verhalten 161.
Nomenklatur des anomalen Systems nach König 31, allgemeine 34.
Normale, ihre Erkennung 76, 122, 138.
Normalengleichung 76, 92, Tafel VI.
— ihre Anerkennung (gelegentliche) durch Anomale 83.
— — durch alle Dichromaten 24, 74.
— ihre Benennung durch die Anomalen 78.
— bei dem Vorhandensein von Ermüdungserscheinungen 104.
Normaler Farbensinn 21, 22, 26.
— Begriff 143, 156.
— Feststellung 76, 122, 138.
— sein Verhalten zur Farbentüchtigkeit 143, 144, 156.
Normales trichromatisches Farbensystem 21, 122.
— Aichung desselben 22.
— Aichlichter nach König 22.
— Aichwertkurven 22, Tafeln I—IV.
— seine Beziehung zum dichromatischen System 23.
— seine Gliederung 26.

Normales trichromatisches Farbensystem, relative Intensitäten von Li, Na und Tl 13.
Normale Trichromasie und Farbenschwäche 110, 112, 139, 140, 141, 142 bis 143, 144, 155.
Notwendigkeit einer stabilen Prüfungsnorm 172.
Optische Gleichungen 6, siehe auch „Gleichungen".
Okularloch an Modell I des Anomaloskopes 54, 58.
Okularspalt an Modell II 54, 59.
Originalkurven Königs des normalen und anomalen Systems 41; Fig. 3, S. 42.
Peripheriewerte (v. Kries) 33.
Pflügers Tafeln zur Prüfung des Farbensinnes 182.
Praktische Beurteilung der gesteigerten Ermüdbarkeit bei Anomalen 104, 107, 120, 136, 138, 163.
— der Farbenschwäche 135 (Nagel), 136 (Köllner), 138, 142.
— der Farbensinnstörungen 132.
Praktische Diagnostik der Farbensinnstörungen 67.
Protanomale 29, 32—34, 39, 41.
— ihre Benennung der Farben in den einzelnen Rayleigh-Gleichungen 78, 90.
— ihre Erkennung 33, 34, 89—93, 121, 160, 161, 162.
— extreme Formen 121.
— Kurve der Peripheriewerte 33.
— Reizwert des roten Lichtes 89.
— ihre Rotkurve 34, Tafeln III und IV.
— Rotmengen in ihrer Rayleigh-Gleichung 29 (Rayleigh), 33 (Levy), 89.
— Statistik, eigene, 89.
— Trennung der extremen Formen von der Protanopie 121.
Protanopen 12, 13, 14, 19.
— ihre Erkennung 70, 71, 72, 73, 74, 93, 122, 124.
— die größere Erregbarkeit ihres Sehorgans durch kurzwellige Lichter 12, 20, 21.
— ihre Peripheriewerte 33.
— der Reizwert des roten und grünen Lichtes für dieselben 13, 14, 70, 71.
— relative Intensitäten von Li, Na und Tl 13.
— Verhalten an Nagels Tafeln 147.
— Verkürzung des Spektrums 16, 73.
— ihr Warmwertkurve 12. Tafeln I und II.
Prüfung eines oder beider Augen 129.
— der gesteigerten Ermüdbarkeit 119.
— „ herabgesetzten Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne bei Anomalen 118.
Psychologische Gliederung der Farbenempfindungen 50.
Quotient der Grün : Rot-Mengen bei Normalen und Deuteranomalen nach v. Kries 32, s. auch „Grünanteil".
Quotient der Grün : Rot-Mengen in Prozenten an Hegners Chromotestor 183.
— nach Trommelintervallen am Anomaloskope berechnet 58.
Rayleighs Experimente an Anomalen 29.
Rayleigh-Gleichung 68, ihre Formel 69.
— der Anomalen 68, 69, 74.
— — ihre Beziehungen zu den sekundären Merkmalen 107.
— — ihre Einstellungsbreite 119.
— — „ Kennzeichen 75.
— — Vorkommen ohne Zeichen von Farbenschwäche 111—113, 132—134 144, 156.
— Aufhellung und Verdunkelung des Mischlichtes 98.
— — Berechnung des Rot- u. Grünanteiles desselben 58, siehe auch „Quotient".
— der Deuteranomalen 29—32, 38—43, 79—83, 93.
— Einfluß der Ermüdung auf dieselbe 82, 103, 107.
— ihre Gelbintensitäten 78, 79.
— Intensitäts- und Helligkeitsveränderungen bei der Einstellung 98.
— der Leicht-Deuteranomalen 83—88.
— Mittelwerte der Gelbintensitäten für Deuteranomale 81.
— — für Normale 76.
— — „ Protanomale 90.
— der Normalen 76, 92.
— — an den neueren Instrumenten 77.
— — ihre Anerkennung (gelegentliche) durch Anomale 83, durch alle Dichromaten 24, 74.
— — ihre Benennung durch die Anomalen 78, 83, 90.
— — nach Nagel und Köllner 77.
— — Verhalten bei gesteigerter Ermüdbarkeit 104.
— der Protanomalen 32—34, 89—92, 93.
Reduktionsform eines Farbensystems nach v. Kries 23.
— Reduktionsformen des normalen trichromatischen Systems 51.
Regeln für Aufbewahrung und Benützung des Anomaloskopes 63, 64, 66.
— für die Farbensinnprüfung 112.
Rein spektrale Anomalien 111, 112, 132—134, 144, 156.
Reizwert des grünen Lichtes für Deuteranomale 30, 31, 32, 38, 79.
— für Deuteranopen und Protanopen 14, 71.
— des roten Lichtes für Protanomale 89.
— für Protanopen und Deuteranopen 13, 70, 71.
Relative Intensitäten von Li, Na und Tl bei Normalen, Deuteranopen und Protanopen 13.
— von Tl : Li bei Deuteranomalen 37.

Rotempfindung, spezifische, der Dichromaten, beim Sehen auf großen Feldern 47, 48, 49.
Rotmengen in der Rayleigh-Gleichung der Protanomalen 29 (Rayleigh), 33 (Levy), 89.
Rot: Gelb-Gleichung der Deuteranopen und Protanopen 70, 71.
Rot- und Grünanteil im Mischlichte der Rayleigh-Gleichung 58.
Rotgrünblindheit, erworbene, ihre Aichung 26.
Rotgrünverwechsler 18.
Rotkurve der Protanomalen 34, Tafeln III, IV.
Sättigung der Farben 7.
Schlußbetrachtungen über die Farbensysteme 50.
Schwacher Farbensinn 108, siehe „Farbenschwäche".
Sekundäre Merkmale der Anomalen 43—46, 75, 132—138.
— bei Betrachtung von Pigmentfarben 133.
— ihre Beziehung zur Rayleigh-Gleichung 107.
— beim Farbensehen der Dichromaten auf großem Felde 48.
— ihre Feststellung mit dem Anomaloskope 97—107.
— — mit den Tafelproben von Nagel 148, von Stilling 150.
— ihre Kombination 47.
— bei Leicht-Deuteranomalen 86.
— ihr selbständiger Wert neben den spektralen Befunden 108, 134, 156.
— ihre Zusammenfassung 46.
Simultankontrast bei Anomalen 45.
Spaltstellungen, beobachtete, für die Rayleigh-Gleichung der Deuteranomalen und Protanomalen, tabellarisch 80, 89.
Spektrale Anomalie ohne Farbenschwäche 111, 112, 132—134, 144, 156, 176, 177.
Spektrum 7.
— der Dichromaten 14; Fig. 1, S. 15.
— Endstrecken der Dichromaten 16.
— — der Normalen 14.
— Farbenton der warmen Spektralhälfte 17.
— Helligkeitsverteilung 37.
— seine kalte Hälfte 14, 17.
— Lage des reinen Gelb bei Anomalen 37, 38.
— — bei Normalen 36.
— Mittelstrecke der Dichromaten 17.
— — bei Normalen 23.
— neutrale Strecke der Dichromaten 14, 16, 21, 73.
— der Normalen 14, 22; Fig. 2, S. 15.
— des total Farbenblinden 27, Tafeln III und IV.
— Verkürzung bei Dichromaten 16.
— — bei Protanomalen 91.
— — „ Protanopen 73.
— — „ Tritanopen 21.
Spektrum, warme Hälfte 14, 17.
— Zwischenstrecken bei Normalen 22.
Spezialdiagnose der Farbensinnstörungen 129.
— ihre Stellung durch die Bahnärzte 172.
Spezielle Methodik der Farbensinnprüfung 114.
— Reihenfolge der darzubietenden Farbenzusammenstellungen 117.
Statistik der Farbensinnstörungen, eigene 1, 70, 71, 72, 80, 84, 85, 89, 104, 105, 131, 136, 137, 139, 160.
Stillings Tafeln 150, 168.
— Bemerkungen zu ihrem Gebrauche 177.
— Besprechung der XIV. Ausgabe 179.
— vergleichende Beurteilung mit Nagels Tafeln 162, 173.
— Erkennung der Anomalen damit 150.
— — der Dichromaten 147.
— Grund ihrer Unlesbarkeit für Anomale 150, 151.
— Kontraststeigerung an denselben 150, 151.
— ihr Lesen durch Deuteranomale 161, 176.
— Statistische Daten über die Prüfungsergebnisse bei Anomalen 160, 161.
— Verhalten der Normalen an denselben 140.
— ihre Verläßlichkeit 163, 171.
— ihr Versagen bei bestehender Farbentüchtigkeit 178.
— Verschiedenheit der einzelnen Auflagen 169.
— ihre Wertigkeit für die Anzeige spektraler Anomalien 168.
— — in Prozenten berechnet 162.
— ihr wissenschaftlicher Wert 170.
Sukzessivkontrast 45.
Tafelproben von Nagel und Stilling 147.
— ihr Bestehen durch Deuteranomale 155, 161.
— Erkennung der Anomalen mit Nagel und Stilling, mit jeder Probe allein 162, 163.
— ihr Lesen als eine intellektuelle Leistung 140.
— ihr Nichtbestehen bei normalem spektralen Verhalten 161.
— ihr selbständiger Wert zur Ermittlung isolierter Farbenschwäche 172.
Temperatur des Untersuchungsraumes 63.
Theoretische Einführung 6.
Totale Farbenblindheit, angeborene 27, erworbene 28.
Trennung der Ermüdungserscheinungen von wahrer Dichromasie 120.
— der extremen Protanomalie von Protanopie 121.
— der sekundären Merkmale von den Mischungsgleichungen 108.
Trichromasie, normale und Farbenschwäche 110, 112, 139, 140, 141, 142 bis 143, 144, 155.

Trichromatisches System 8.
Tritanopie, angeborene 21, erworbene 5, 27, 28.
Typen der Aichwertkurven, siehe „Stichwertkurven".
Typische Anomalien 111, 112, 132 bis 134, 144, 156.
Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne.
— ihre Herabsetzung bei Anomalen 43, 97.
— ihr Absinken durch Ermüdung 101.
— „ „ „ Verkürzung der Expositionszeit 44, 99.
— — für Dichromaten beim Farbensehen auf großen Flächen 48.
— ihre Feststellung mit dem Anomaloskope 97, 118, 133.
— — mit Nagels und Stillings Tafeln 148, 149.
Untersuchungen an Anomalen von Donders 30, Guttmann 40, König 30, v. Kries 32, Nagel 38, Rayleigh 29.
Unvollständiger Farbensinn 108.
Verdunkelung des Mischlichtes in der Rayleigh-Gleichung 98.
Vergleich der Dichromatenkurven mit dem Bande des Spektrums 14, 16.
Verhalten der Anomalen gegenüber den Spektralfarben 37 (Donders), 38 (Nagel).
Verhüllung bunter Farben 175.
Verkürzung des Spektrums, bei Dichromaten 16.
— bei Protanomalen 91.
— bei Protanopen 73.
— bei Tritanopen 21.
Verlängerte Erkennungszeit für Farben bei Anomalen 44.
Verlängerte Erkennungszeit, ihr Nachweis am Anomaloskope 99.
— mit Nagel und Stilling 149.
Verstärktes Auftreten des Farbenkontrastes bei Anomalen 45.
— sein Nachweis am Spektralapparate 100.
— mit Nagels und Stillings Tafeln 149, 150, 151, 165.
— siehe auch „Kontraststeigerung".
Verteilung der Blauwerte im Spektrum 21.
Verwendbarkeit der einzelnen Lichtquellen für das Anomaloskop 64.
Warme Hälfte des Spektrums 14, 17.
Warmwerte *(W)* im Spektrum 9.
Warmwertkurve der Deuteranopen und Protanopen 12, Tafeln I, II.
Wellenlängen der 3 Aichlichter eines normalen trichromatischen Systems nach König 22.
— der am Anomaloskope (Modell I) zur Einstellung gelangenden Lichter 57.
— der den Gelbspalt und die gekoppelten Spalte passierenden Lichter 98.
Wollprobe bei Dichromaten 49.
Zeitschwelle, ihre Erhöhung bei Anomalen 44, 99, 133, 149.
Zusammenfassung der Anomalien des Farbensinnes 42, 43.
— der Farbensysteme 28, 50.
— der sekundären Merkmale der Anomalen 46.
Zweifelhafte Fälle bei Prüfung mit Nagel und Stilling 165.
Zweiter Typus des anomalen Systems 32.
Zwillingsprisma des Anomaloskopes 56.
Zwischenstrecken des normalen Spektrums nach König 22.

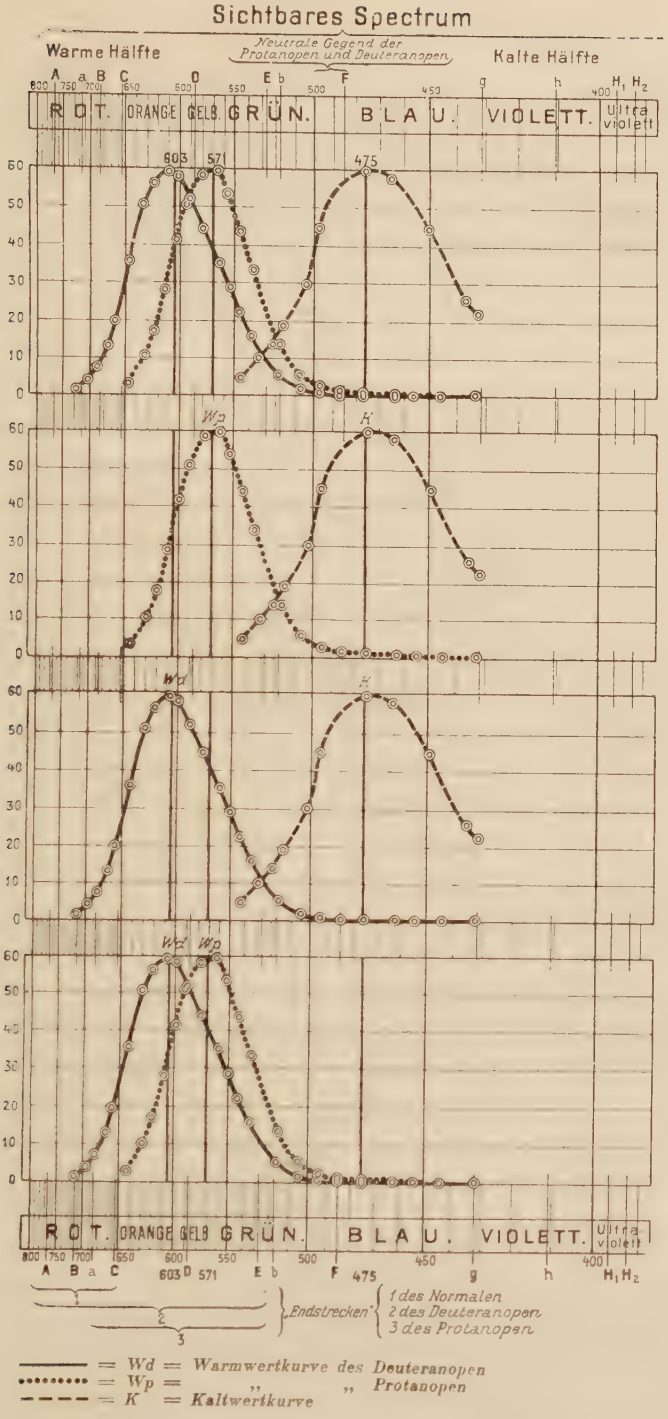
Namenverzeichnis.

Augstein 106, 152, 170, 177, 180, 181.
Brewster 182.
Cohn 177, 179, 180.
Collin 181.
Dieterici 22, 42.
Donders 9, 13, 14, 22, 24, 30, 31, 34, 36, 37, 38, 44, 50, 54, 60, 79, 108, 116.
Engelmann 11, 30.
Guttmann 35, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 79, 82, 83, 99, 101, 109, 110, 116, 135, 151.
Hegner 182, 184.
Helmholtz 9, 12, 18, 36.
Hering 18, 175.
Holmgren 6, 108.
Köllner 3, 4, 5, 10, 12, 26, 28, 70, 71, 72, 76, 77, 79, 86, 89, 92, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 111, 112, 113, 116, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 136, 142, 143, 158, 181.
König 1, 11, 14, 18, 22, 23, 24, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 41, 42, 167.
v. Kries 3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 23, 24, 32, 33, 34, 35, 50, 54, 65, 100, 108, 151.
Levy 11, 33, 34, 35, 108.
Lotze 11, 32, 108.
Löwe 182.
Maxwell 22, 24, 29.
Meyer 181.
Nagel 19, 35, 38, 43, 45, 47, 48, 49, 50, 52, 70, 71, 72, 77, 79, 81, 82, 89, 101, 108, 109, 110, 113, 124, 129, 134, 135, 140, 142, 150, 153, 154, 155, 157, 158, 164, 166, 167, 171, 177, 181.
Napp 143, 181, 182.
Oloff 106, 129, 130, 152, 168, 171, 172.
Pflüger 182.
Rayleigh 29, 30, 32, 34, 69, 108.
Reuss 160.
Sachs 25.
Seebeck 24.
Sehrwald 20.
Seydel 4, 106, 152, 153, 168.
Stargardt 106, 129, 130, 148, 152, 168, 169, 171, 172.
Stilling 131, 169, 170, 177, 179.
Vierling 131, 157, 170, 181.
v. d. Weyde 52.
Zehnder 42.
Ziehen 142.

Die Anomaloskope nach Nagel sind zu beziehen von der Firma Franz Schmidt & Haensch, Werkstätten für Präzisionsmechanik und Optik, Berlin S 42 Prinzessinnenstraße 16.

Die Preise stellen sich wie folgt:

	Mark
1. Anomaloskop nach Nagel zur Messung von Spektralfarben für diagnostische Zwecke, Modell I	315·—
2. Anomaloskop, Modell II	500·—
3. Mehrkosten für Konstantenbestimmung pro Apparat . . .	20·—
4. Montierung des Anomaloskopes auf Grundbrett inkl. Gasglühlichtlampe (siehe Fig. 4, S. 53), Mehrkosten	35·—
5. desgleichen inkl. Spiritusglühlichtlampe, Mehrkosten . . .	47·—



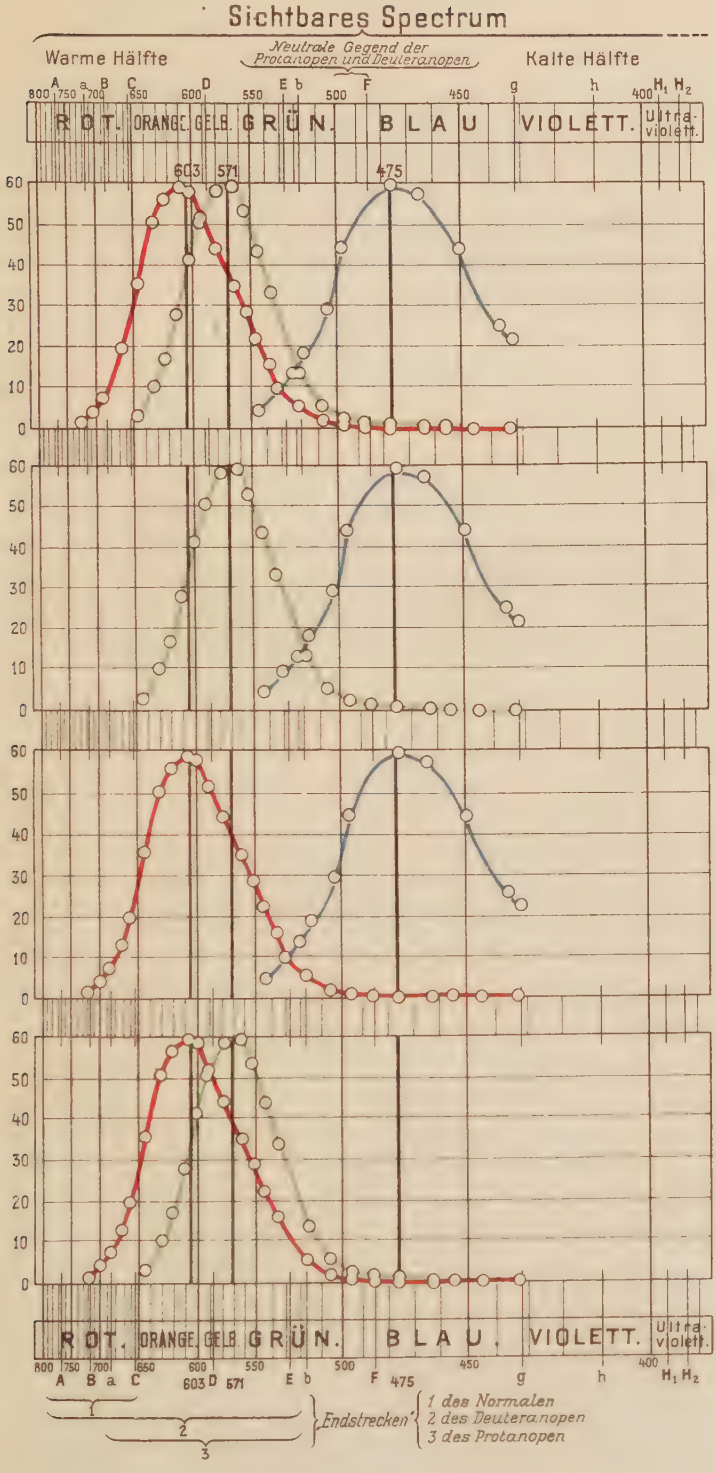
Aichwertkurven des normalen trichromatischen Systems.

Aichwertkurven des protanopischen Systems.

Aichwertkurven des deuteranopischen Systems.

Schematische Darstellung der Aichwertkurven eines tritanopischen Systems.

Verlag von Franz Deuticke in Wien und Leipzig.


Sichtbares Spectrum
Warme Hälfte
Neutrale Gegend der Protanopen und Deuteranopen
Kalte Hälfte
A a B C D E b F g h H1 H2
800 750 700 650 600 550 500 450 400
ROT. ORANGE. GELB. GRÜN. BLAU VIOLETT. Ultra-violett.
603 571 475
60 50 40 30 20 10 0
Endstrecken
1 des Normalen
2 des Deuteranopen
3 des Protanopen

Aichwertkurven des normalen trichromatischen Systems.

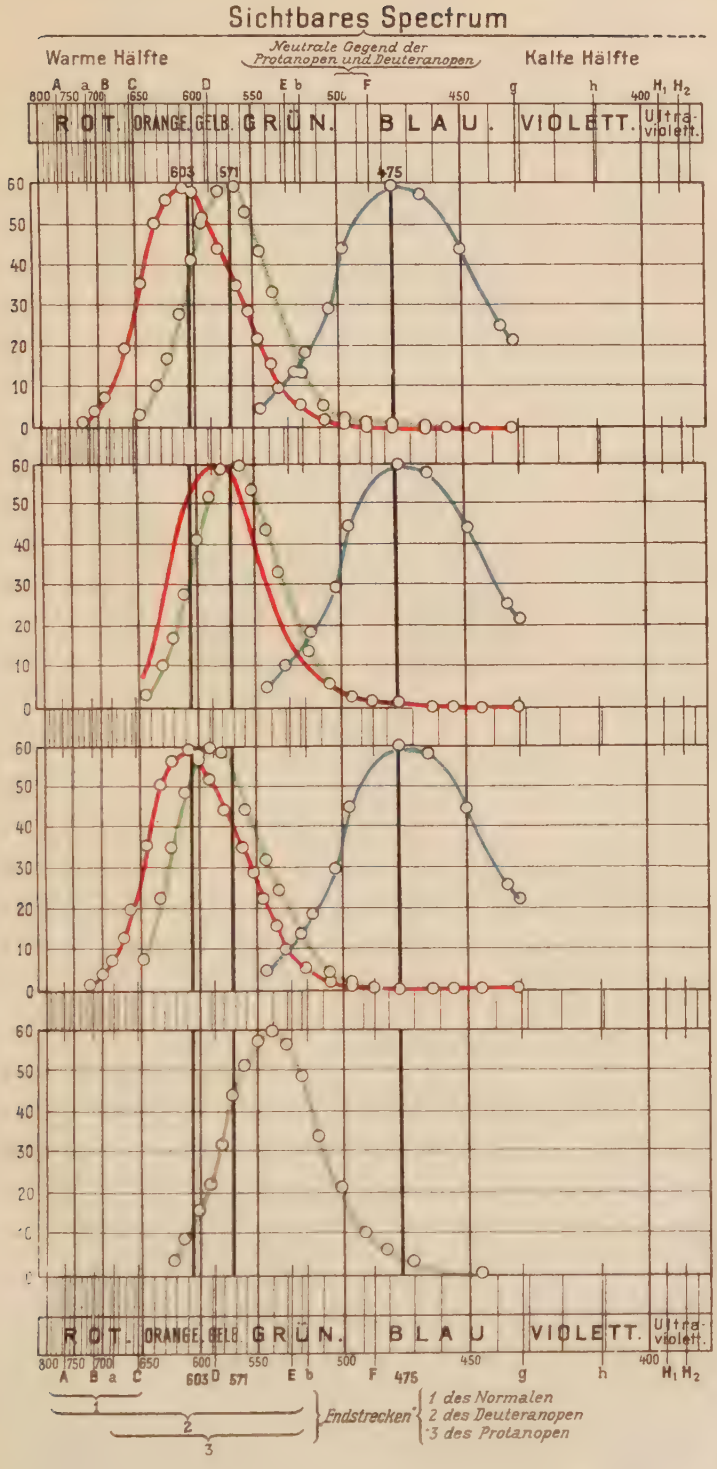
Aichwertkurven des protanopischen Systems.

Aichwertkurven des deuteranopischen Systems.

Schematische Darstellung der Aichwertkurven eines tritanopischen Systems.

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.

Verlag von Franz Deuticke in Wien u. Leipzig.


Sichtbares Spectrum
Warme Hälfte
Neutrale Gegend der Protanopen und Deuteranopen
Kalte Hälfte
A a B C D E b F g h H1 H2
800 750 700 650 600 550 500 450 400
ROT. ORANGE. GELB. GRÜN. BLAU. VIOLETT. Ultra-violett.
603 571 475
60 50 40 30 20 10 0
ROT. ORANGE. GELB. GRÜN. BLAU VIOLETT. Ultra-violett.
Endstrecken
1 des Normalen
2 des Deuteranopen
3 des Protanopen

Aichwertkurven des normalen trichromatischen Systems.

Schematische Darstellung der Aichwertkurven eines protanomalen Systems.

Aichwertkurven eines deuteranomalen Systems.

Helligkeitsverteilung im Spektrum des total Farbenblinden.

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien

Verlag von Franz Deuticke in Wien u. Leipzig.

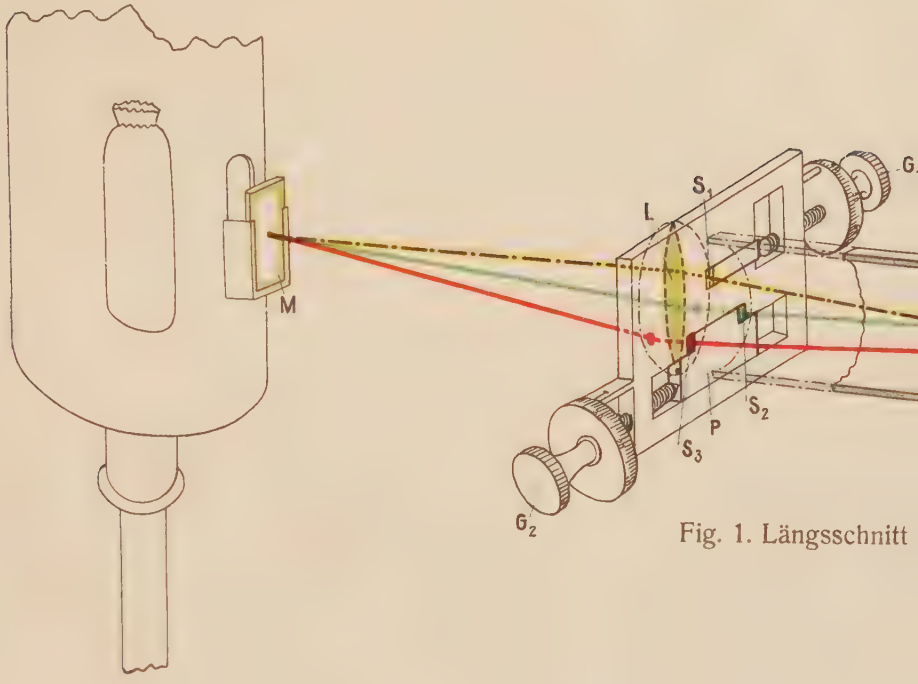


Fig. 1. Längsschnitt

M	Lichtquelle mit Mattscheibe.		**P**
L	Konvexlinse vor den Spalten.		**O1**
S1	Gelb		**D**
S2	Grün	Spalte.	**Z**
S3	Rot		**B**
G1	Meßschraube für Gelb.		**O2**
G2	Meßschraube für Rot-Grün.		**A**

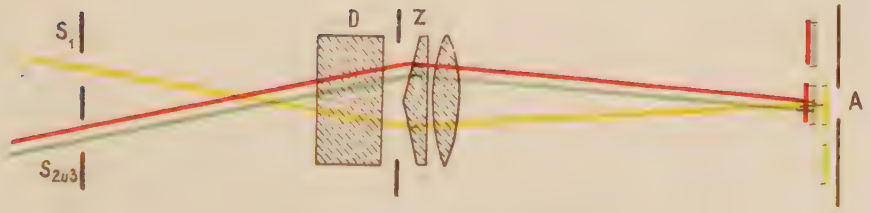
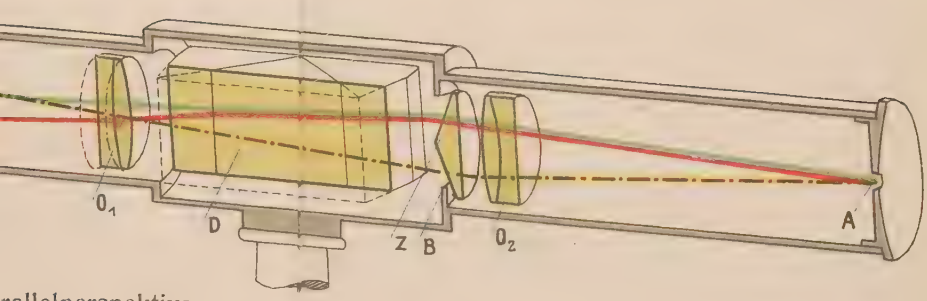


Fig. 2. Senkrechter Längsschnitt
(Schematisch)

ɔmaloskop.

ch Prof. Nagel.



rallelperspektive.

-Koppel.
natorobjektiv.
rsionsprisma.
ingsprisma.
htsfeld.
ohrobjektiv.
ittspupille.

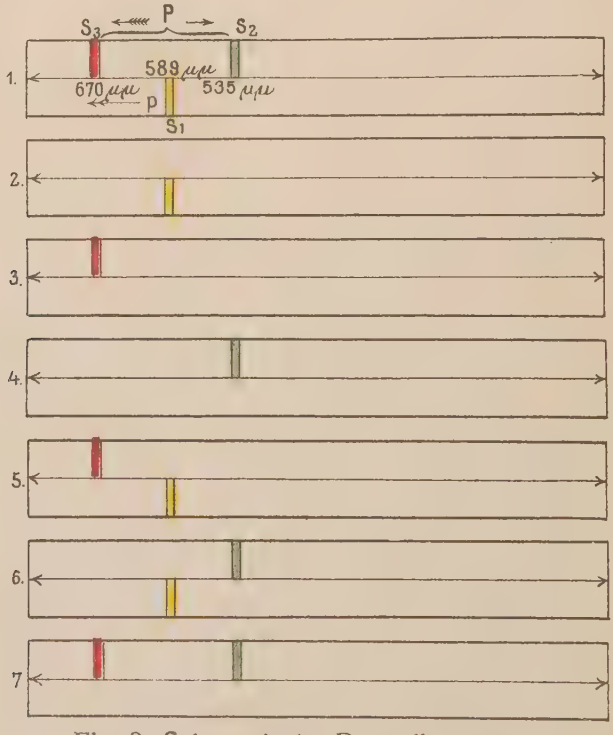


Fig. 3. Schematische Darstellung der an Modell II möglichen Einstellungen.

ke in Wien u. Leipzig.

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.

Tabellarische Zusammenstellung der Rot : Gelb- und Grün : Gelb-Gleichungen der Dichromaten, sowie der Rayleighgleichung der Normalen und Anomalen.

Bildliche Darstellung	Art der Gleichungen	Mittelwerte	Grenzwerte des Mischlichtes	Grenzwerte der Gelb-Intensitäten
	Rot: Gelb-Gleichung der Protanopen	Li : 3		3 - 5
	Rot: Gelb-Gleichung der Deuteranopen	Li . 10		9 - 12
	Grün: Gelb-Gleichung der Protanopen	Tl : 50		45 - 70
	Grün: Gelb-Gleichung der Deuteranopen	Tl : 35		33 - 50
	Normalengleichung	59 : 16	57 - 61	14 - 17
	Protanomalen Gleichung	70 : 10	66 - 72	4 - 10
	Deuteranomalen-Gleichung	47 : 19	40 - 50	14 - 24

Die Zahlen bedeuten Intervalle der Trommelteilung

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.

Verlag von Franz Deuticke in Wien u. Leipzig.

Anleitung

zur

Feststellung der Farbentüchtigkeit.

Von

Dr. J. Rosmanit

Chefarzt der österreichischen Südbahn in Wien.

Mit 8 Abbildungen im Text und 6 lithographischen Tafeln.

LEIPZIG UND WIEN.

FRANZ DEUTICKE.

1914.

Verlags-Nr. 2130.

Verlag von Franz Deuticke in Leipzig und Wien.

Beiträge zum feineren Baue der Netzhaut des Chamaeleo vulgaris

von **Dr. M. Borysiekiewicz,** o. ö. Professor der Augenheilkunde an der Universität zu Graz.

Mit 36 Photogrammen. — Preis M. 4·— = *K* 4·80.

Weitere Untersuchungen über den feineren Bau der Netzhaut

von **Dr. M. Borysiekiewicz,** o. ö. Professor der Augenheilkunde an der Universität zu Graz.

Mit 65 in den Text gedruckten Abbildungen. — Preis M. 4·— = *K* 4·80.

Die Augenheilkunde in der Römerzeit

von **Dr. Rodolfo del Castillo y Quartiellers** in Madrid.

Autorisierte Übersetzung aus dem Spanischen

von **Dr. Max Neuburger,** Professor an der k. k. Universität in Wien.

Mit 26 Textfiguren. — Preis M. 4·— = *K* 4·80.

Transparente Sehproben.

Von **Prof. Dr. Hermann Cohn** in Breslau.

Preis M. 2·— = *K* 2·40.

Der Augenspiegel und die ophthalmoskopische Diagnostik.

Von **Dr. F. Dimmer,** Dozent für Augenheilkunde an der Wiener Universität.

Mit 91 Abbildungen im Text. — Preis geh. M. 5·— = *K* 6·—, geb. M. 6·50 = *K* 7·80.

Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Macula Lutea des Menschen

von **Dr. Friedrich Dimmer,** Privatdozent für Augenheilkunde an der Wiener Universität.

Mit 12 Figuren im Text und einer Tafel. — Preis M. 5·— = *K* 6·—.

Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut.

Nebst Beiträgen zur normalen Anatomie der Netzhaut.

Von **Dr. Friedrich Dimmer,** Dozent für Augenheilkunde an der Wiener Universität.

Mit 36 Abbildungen im Text und 1 Tafel.

Preis geh. M. 7·— = *K* 8·40, geb. M. 8·60 = *K* 10·40.

Die Funktionsprüfung des Auges.

Für Studierende und Ärzte.

Dargestellt von **Dr. Anton Elschnig,**
o. ö. Professor und Vorstand der deutschen Universitäts-Augenklinik in Prag.

Zweite, umgearbeitete Auflage. Mit 48 Figuren im Texte. — Preis M. 5·— = *K* 6·—.

Verlag von Franz Deuticke in Leipzig und Wien.

Die Physiologie der facettierten Augen von Krebsen und Insekten.

Eine Studie

von **Sigm. Exner**, Professor der Physiologie an der Universität in Wien.

Mit 7 lithographierten Tafeln, einem Lichtdruck und 23 Holzschnitten im Text.

Preis M. 14·— = *K* 16·80.

Die Messung der Pupillengröße

und Zeitbestimmung der Lichtreaktion der Pupillen bei einzelnen Psychosen und Nervenkrankheiten.

Eine klinische Studie

von **Dr. Alfred Fuchs**,
Assistent der k. k. II. Universitätsklinik für Psychiatrie und Nervenkrankheiten des Professors Dr. J. Wagner von Jauregg, Wien.

Mit 14 Abbildungen im Text und 6 Tafeln in Lichtdruck. — Preis M. 5·— = *K* 6·—.

Lehrbuch der Augenheilkunde

von **Dr. Ernst Fuchs**,
o. ö. Professor der Augenheilkunde an der Universität zu Wien.

Zwölfte, vermehrte Auflage. — Mit 392 Abbildungen.

Preis geh. M. 15·— = *K* 17·—, geb. M. 17·50 = *K* 20·—.

Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit

nebst Angabe einer leichtfaßlichen Methode zur schnellen Berechnung der Axenlänge, optischen Konstanten des Auges und Bildgröße

von **Dr. V. Fukula** in Wien.

Mit 28 Holzschnitten. — Preis M. 4·— = *K* 4·80.

Die Ophthalmoskopie in der inneren Medizin.

Ein Handbuch und Atlas

von **W. R. Gowers.**

Mit Genehmigung des Verfassers nach der dritten englischen Auflage übersetzt von **Dr. Karl Grube.**

Mit 81 Holzschnitten im Text und 12 Tafeln in Lithographie und Autotypie.

Preis geh. M. 13·— = *K* 15·60, geb. M. 15·— = *K* 18·—.

Die Sehschärfe des Menschen und ihre Prüfung.

Eine physiologisch-ophthalmologische Studie

von **Leopold Löhner**
Dr. med. et phil., Assistent am Physiologischen Institute der Universität Graz.

Preis M. 4·— = *K* 4·80.

Über multiple Augenmuskel-Lähmungen

und ihre Beziehungen zu den sie bedingenden, vorzugsweise nervösen Krankheiten

von **Dr. Alessandro Marina** (Triest).

Preis M. 10·— = *K* 12·—.

Verlag von Franz Deuticke in Leipzig und Wien.

Über das Fehlen der Wahrnehmung der eigenen Blindheit bei Hirnkrankheiten

von **Prof. Dr. Emil Redlich** und **Dr. Giulio Bonvicini.**

Preis M. 3·— = *K* 3·60.

Das Gesichtsfeld bei funktionellen Nervenleiden

von **Prof. Dr. A. R. von Reuss** in Wien.

Mit 17 Figuren. — Preis M. 4·— = *K* 4·80.

Die Anomalien der Skleralspannung.

Das Wesen des simplen Glaukoms.

Von **Dr. Hugo Stransky,** Augenarzt in Brünn.

I. Band: Glaucoma Inflammatorium. — Das Altersauge.
Die Narben der Sklera. — **Glaucoma Simplex** (I. Teil).

Preis M. 6·— = *K* 7·20.

Über subjektive optische Anschauungsbilder.

Von **Viktor Urbantschitsch** in Wien.

Mit 3 Tabellen und 3 Bildern als Beilagen. — Preis M. 5·— = *K* 6·—.

Über subjektive Hörerscheinungen und subjektive optische Anschauungsbilder.

Eine psycho-physiologische Studie
von **Viktor Urbantschitsch** in Wien.

Preis M. 4·— = *K* 4·80.

Lehrbuch der Augenheilkunde.

Bearbeitet von **Dr. Adolf Vossius,**
o. ö. Professor der Ophthalmologie, Geheimem Medizinalrat
und Direktor der Augenklinik an der Universität Gießen.

Mit 275 Figuren im Text und 1 Durchschnitt des Auges.

Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage des Grundrisses der Augenheilkunde.

Preis geh. M. 16·— = *K* 19·20, geb. M. 18·50 = *K* 22·20.

Über das Gesichtsfeld der Kurzsichtigen.

Von **Dr. Leopold Weiss,**
a. o. Professor der Augenheilkunde an der Universität Heidelberg.

Mit 32 Figuren. — Preis M. 5·— = *K* 6·—.

Die Wirkungen der Augenmuskeln und die Erscheinungen bei Lähmungen derselben.

Bewegliches Schema zur Ableitung der Lagen der Doppelbilder
für den Unterricht und das Selbststudium.

Zusammengestellt von **Dr. Oskar Zoth.**

Preis M. 2·50 = *K* 3·—.

A. d. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

28.G.28.
Anleitung zur Feststellung der 1914
Countway Library BER6087
3 2044 045 963 527

28.G.28.
Anleitung zur Feststellung der 1914
Countway Library BER6087
3 2044 045 963 527